



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación de la Mezcla Asfáltica 60 -70 incorporando Cenizas
Volcánicas y Plástico PET para disminuir el envejecimiento
Pavimento Flexible San Martín de Porres - 2019**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

Altamirano Arce Ej Edinson (ORCID: [0000-0001-9463-7405](https://orcid.org/0000-0001-9463-7405))

ASESOR:

Ing. Minaya Rosario Carlos Danilo ([ORCID: 0000-0002-0655-523X](https://orcid.org/0000-0002-0655-523X))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LIMA - PERÚ

2020

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios todo poderoso por estar siempre a mi lado en el transcurso del desarrollo de mi carrera para poder lograr mi meta y poder permitirme terminar esta última etapa de la carrera que es la tesis de manera satisfactoria, también a todas las personas que conforman mi núcleo familiar por apoyarme, especialmente a mis padres Enrique y Elva por enseñarme que con esmero y constancia se pueden cumplir las metas y a que nunca debo darme por vencido.

AGRADECIMIENTO

A Dios, ante todo a mi casa de estudio y todos los profesores de la universidad por sus conocimientos y valores impartidos que será de mucha utilidad en la vida profesional y personal, al asesor por su orientación y gran aporte para realizar la tesis, a mi familia por su apoyo incondicional y fuerza de motivación para alcanzar esta meta.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
III. MÉTODOS.....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2 Variables y operacionalización.....	17
3.3 Población, Muestra y muestreo.....	18
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.5 Procedimientos.....	21
3.6 Método de Análisis de datos.....	21
3.7 Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS.....	23
V. DISCUSIONES	63
VI. CONCLUSIONES	68
VII. RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Resumen de análisis</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2: Ensayos y frecuencias.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3: Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4: Resumen de estabilidad de ensayos con cenizas volantes.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5: Resumen de valores de flujo con cenizas volantes.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6: Resumen de estabilidad/flujo con cenizas volantes</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 7: Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas de caña de maíz como llenante mineral para porcentaje de vacíos.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8: Resumen de porcentaje de vacíos para ensayo con cenizas de caña de maíz</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 9: Resumen de valores para ensayo con cenizas volantes.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 10: Resumen de parámetros Marshall con diversos porcentajes de PET ..</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 11: Resumen de valores de estabilidad con PET</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 12: Resumen de valores de flujo con PET</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 13: Resumen de valores estabilidad/flujo con PET</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 14: Resumen de porcentaje de vacíos para ensayo con PET.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 15: Resumen de valores para ensayo con PET</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 16: Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes a la llenante mineral.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 17: Resumen de estabilidad patrón para ensayos con cenizas.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 18: Resumen de valores de flujo patrón para ensayo con cenizas</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 19: Resultados patrón de estabilidad/flujo.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 20: Resumen de estabilidad/flujo patrón para ensayos con cenizas volantes</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 21: Resumen de porcentaje de vacíos patrón para ensayo con cenizas volantes.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 22: Resumen de valores del Ensayo Patrón para ensayo con cenizas volantes.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 23: Resumen de parámetros Marshall para establecer patrón de ensayo con PET</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 24: Resumen de estabilidad patrón para ensayo con PET.....</i>	<i>54</i>

<i>Tabla 25: Resumen de valores de flujo patrón para ensayo con PET.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 26: Resumen de estabilidad/flujo patrón para ensayos con PET</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 27: Resumen de porcentaje de vacíos patrón para ensayo sin PET</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 28: Resumen de valores para ensayo sin PET</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 29: Resumen global para mezcla asfáltica con PET</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 30: Resumen global para mezcla asfáltica con cenizas volantes.....</i>	<i>62</i>

Índice de gráficos y figuras

<i>Figura 1: Estabilidad de la mezcla asfáltica con cenizas volantes</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2: Flujo de mezcla asfáltica con cenizas de cenizas volantes.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3: Estabilidad/flujo para ensayo con cenizas volantes</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4: Vacíos en mezcla asfáltica con cenizas de caña de maíz.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5: Estabilidad con PET</i>	<i>37</i>
<i>Figura 6: Flujo patrón para ensayo con PET</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7: Estabilidad/flujo para ensayo con PET.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 8: Vacíos para ensayo con PET.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 9: Estabilidad del patrón para ensayos con cenizas volantes</i>	<i>45</i>
<i>Figura 10: Flujo patrón para ensayo con cenizas.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 11: Estabilidad/Flujo patrón para ensayo con cenizas volantes</i>	<i>49</i>
<i>Figura 12: Vacíos patrón para ensayo con cenizas volantes</i>	<i>51</i>
<i>Figura 13: Estabilidad del patrón para ensayos con PET.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 14: Flujo patrón para ensayo con PET</i>	<i>56</i>
<i>Figura 15: Estabilidad/Flujo del patrón para ensayo con PET.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 16: Vacíos patrón para ensayo sin PET</i>	<i>60</i>

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo primordial fue de difundir y permitir con este estudio el conocer sobre la reutilización de elementos reciclados como parte de adición a la mezcla asfáltica, en lo que corresponde tanto en los agregados grueso como fino con el propósito de contribuir a la mejora en el área de la construcción de un pavimento flexible sostenible, conociendo que actualmente no es estudiado comúnmente en cuanto a su aplicación debido a la carencia de investigaciones en este ámbito, por lo que esto contribuirá en gran manera en reducir la contaminación que generan estos elementos al medio ambiente.

Este estudio se llevó a cabo su desarrollo considerando la finalidad más resaltante que consistió en que la mezcla asfáltica cumpla con los requerimientos con respecto al desempeño para el que fue diseñado como aspecto más importante con la incorporación de elementos reciclados en la vida cotidiana y en la industria con el propósito de optimizar el pavimento flexible de mediano tránsito vehicular y poder visualizar las propiedades que cumple sin la adición de preparación tradicional, es por esto que se realizaron comparaciones empleando los resultados de 3 tesis.

Estos estudios emplearon una metodología de tipo experimental en donde se llevaron a cabo el ensayo Marshall en el cual se pudo conocer las propiedades mecánicas tales como flujo, estabilidad, relación estabilidad versus flujo y porcentaje de vacíos con respecto a los agregados reciclados y al agregado natural considerado como patrón en una mezcla convencional 60/70, en donde se identificó dosificaciones de distintos porcentajes de PET al llenante mineral 0.25%, 0.45%, 0.55% y 0.6%, 0.78% y 0.92%, con cenizas volantes

Palabras claves: Plástico PET, Cenizas volantes, mezcla asfáltica, propiedades de envejecimiento.

ABSTRACT

The main objective of this research was to disseminate and allow with this study to know about the reuse of recycled elements as part of addition to the asphalt mix, in what corresponds to both coarse and fine aggregates with the purpose of contributing to the improvement in the area of the construction of a sustainable flexible pavement, knowing that currently it is not commonly studied in terms of its application due to the lack of research in this area, so this will contribute greatly to reduce the pollution generated by these elements to the environment.

This study was carried out considering the most outstanding purpose, which consisted of the asphalt mixture meeting the requirements regarding the performance for which it was designed as the most important aspect with the incorporation of recycled elements in daily life and in the industry with the purpose of optimizing the flexible pavement of medium vehicular traffic and being able to visualize the properties that it meets without the addition of traditional preparation, that is why comparisons were made using the results of 3 theses.

These studies used an experimental type methodology where the Marshall test was carried out in which the mechanical properties such as flow, stability, stability versus flow relationship and percentage of voids with respect to recycled aggregates and natural aggregate could be known. considered as a standard in a conventional 60/70 mixture, where dosages of different percentages of PET to the mineral filler were identified 0.25%, 0.45%, 0.55% and 0.6%, 0.78% and 0.92%, with fly ash

Keywords: PET plastic, Fly ash, asphalt mix, aging properties.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo entero existen en la actualidad problemas muy recurrentes en los vehículos debido al deterioro y disminución que ha tenido la calidad del asfalto, que también se le puede llamar vida útil que posee el pavimento flexible. Ya sea por factores externos e internos el asfalto puede ser afectado por la reducción de las propiedades conocidas como físicas y también las mecánicas que provoca como consecuencia a los usuarios inconformidad y afectaciones directas a los vehículos que en todo momento transitan en una vía determinada.¹

A nivel internacional, en Colombia, Chile y Ecuador se han estudiado la transformación del pavimento con Polímero SBS, la modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS fabricado en obra, permitieron contar con un ligante de mejores características de resistencia a las deformaciones permanentes y mejor comportamiento a la fatiga, el bagazo de caña usan como un mecanismo de adición de fibras que propende reducir el costo del material instalado y transformarlo en un producto ambientalmente más amigable, puesto que con el uso de esta tecnología se da destino y valor agregado a un producto que generalmente es desechado, el grano de caucho aplicado en las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos, han permitido obtener un pavimento con mejores respuestas a los cambios térmicos, así como también aumentan la resistencia a la fisuración por fatiga y al envejecimiento, incrementando la vida útil del pavimento y disminuyendo los costos de Diseño Mezcla Asfáltica usando Caucho mantenimiento. Por otro lado ayuda a la preservación del medio ambiente al reciclar los neumáticos, las bolsas plásticas se aplican en el proyecto en busca de diseñar una mezcla asfáltica modificada con desperdicios plásticos, que se constituya en una aplicación para pavimentación donde mejore su durabilidad, se piensa que el proyecto dé respuesta a la problemática de la malla vial en la ciudad de Bogotá, y al mismo tiempo ofrezca una solución ambiental al manejo de los desperdicios (residuos) plásticos y la fibra de coco aplicada a mezclas asfálticas tiene los siguientes resultados ya realizada la comparación de la estabilidad y deformación con los porcentajes óptimos de asfalto, se determina que el pavimento asfáltico tradicional posee una mayor estabilidad que el pavimento asfáltico con fibras siendo que el pavimento asfáltico tradicional es un 19,35% más estable que el pavimento asfáltico con fibras, no obstante, los dos tipos de pavimento cumplen con los criterios de diseño de un pavimento usable, con la

diferencia que el pavimento asfáltico tradicional es menos costoso que el pavimento asfáltico con fibras.²

A nivel nacional, en nuestro país se han realizado muchas investigaciones relacionadas con mezclas asfálticas usando agregados. Por esa razón, investigadores de los departamentos de Chimbote, Puno y Junín han realizado estudios a las mezclas asfálticas para mejorar su durabilidad, esto se logra incorporando en el asfalto con polímeros para mejorar las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos convencionales y su finalidad principal es de contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes de las mezclas que componen las capas o superficie de rodamiento, aumentando la rigidez, Resistencia a la humedad, Resistencia a la fatiga, la fisuración por fatiga es una de las principales degradaciones que se presentan en un pavimento asfáltico, y uno de los criterios de diseño de la estructura del pavimento. Para realizar eso han hecho estudios agregando a la mezcla asfáltica ceniza, plástico, cascara de arroz y carbón de maíz, grano de caucho donde se generó un aporte a las propiedades del asfalto en cuanto a su durabilidad, Resistencia y adhesión y también redujo la cantidad de asfalto al utilizar ceniza volante y plástico. Todo esto aporta también a mejorar las condiciones ambientales al usar como agregados materiales de desecho.³

En el distrito de San Martín de Porres no escapa de la situación de deterioro de la calzada, la Av. Los Alisos cruzando la Av. Santa Callao se encuentra sin asfaltar en estado de trocha se extiende de este a oeste, las cuales sirven para comunicación con varios distritos.⁴ Es debido a esto que las vías son consideradas importantes para el mercado y crecimiento de una localidad. De esta forma se necesita que se tenga en cuenta de optimizar estos recursos por medio de productos que mejoren las propiedades del envejecimiento buscando productos tanto naturales, como aquellos que sean de fácil adquisición para su estudio. Entre los que se pueden mencionar están las cenizas volcánicas y plásticas PET que representan un problema ambiental debido a sus propiedades de degradación o tóxicas que provocan un problema que se va a producir el medio ambiente. De acuerdo a estudios previos estos elementos presentan un gran aporte a los pavimentos flexibles por su composición que retarda las propiedades del envejecimiento. Es por lo mencionamos que se busca hacer

evaluaciones a lo que es la mezcla de asfalto 60/70 con la incorporación de cenizas volcánicas y plástico (PET) como alternativa para disminuir el envejecimiento con el propósito de elaborar pavimentos flexibles de mayor durabilidad en Lima.⁵

Problema General

¿En cuánto influyen las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible con la adición de las cenizas volantes y plástico PET que representan un problema ambiental y así aumentar su vida útil?

Problemas específicos de la investigación fueron:

- ✓ ¿Cuánto influye la dosificación de las Cenizas Volantes en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?
- ✓ ¿Cuánto incide la dosificación de Plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?
- ✓ ¿Cuánto influye la dosificación de Cenizas Volantes y el Plástico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?

La investigación se argumentó en los siguientes aspectos como teórico, práctico, metodológico y económico. Porque buscó la manera de beneficiar las propiedades de envejecimiento que se requiere en la mezcla asfáltica utilizando ceniza volantes y plástico PET. Se utiliza estos dos elementos con el fin que se mejore la calidad y resistencia del asfalto. El propósito fue que el pavimento cumpla con las normas requeridas, para así solucionar los problemas en la pavimentación de carreteras y por último desde el punto económico a su vez con ello se estima tener un mayor ahorro económico en cuanto a la aplicación de los programas de intervención para la reparación y mantenimiento de las vías locales.⁶

Hipótesis general

La mezcla de asfalto con Cenizas Volantes y Plástico PET mejorará las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible.

Las Hipótesis específicas de la investigación fueron:

- ✓ La dosificación de las cenizas volantes aumentará la relación estabilidad vs flujo del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.
- ✓ La dosificación de plástico PET aumentará la relación estabilidad vs flujo del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

- ✓ La dosificación de las cenizas volantes y el pastico PET disminuirá los porcentajes de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

Objetivo General

Evaluar como las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible mejora con la incorporación de cenizas volantes y plástico PET.

Objetivos específicos de la investigación fueron:

- ✓ Evaluar cómo influye la dosificación de las cenizas volantes en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.
- ✓ Evaluar cómo influye la dosificación de plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.
- ✓ Evaluar cómo influye la dosificación de las cenizas volantes y el plástico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

II. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo del marco teórico de este informe de investigación se recurrió a la búsqueda de información de interés para llevar a cabo el presente trabajo, con investigaciones previas conformadas por tesis nacionales e internacionales y artículos científicos, asimismo para definir la variable Diseño de Pavimento flexible, Mezcla asfáltica e incorporación de Ceniza Volante, se consultaron autores, tesis y artículos científicos para obtener mayor información. Se establecieron diversos antecedentes para este Informe de Investigación que tienen relación con el tema que se está planteando, lo que servirá en otros capítulos de la investigación para hacer las comparaciones respectivas (Discusión) con los resultados que se van a obtener en el presente estudio.

En lo que corresponde a tesis nacionales se tiene la de **Corbacho** (2019) la tesis tuvo por título ***“Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del cusco-2018”*** de la **Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco**, Cuzco, Perú. Su **objetivo** principal fue mejorar el comportamiento de la mezcla de concreto asfáltico en caliente modificándolo con un polímero-plastómero mediante vía seca. El **tipo** de investigación fue experimental. La **población** fue la misma **muestra** y estuvo compuesta de 45 probetas divididas en 15 de asfalto convencional y 30 modificadas con distintos porcentajes de PET. Se **concluyó** lo siguiente, se encontró que la influencia de la sustitución parcial de agregado fino en la estabilidad Marshall de mezcla asfáltica modificada con fibras PET disminuye un 9.6% en comparación a la mezcla asfáltica convencional, mientras el flujo de mezcla asfáltica modificada con fibras PET se incrementa en 6.52% en comparación a la mezcla asfáltica convencional. El **instrumento** usado fue la ficha de registro.⁷

Rosales (2019) titulada ***“Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral.”*** Perteneciente a la **Universidad San Pedro** ubicada en Chimbote. Perú. El **objetivo** de la investigación fue determinar la resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral con respecto al peso de la mezcla. **Tipo** de investigación experimental. Con una **población** y **muestra** igual a 24 briquetas con distintos porcentajes de asfalto y

10% de ceniza de carbón. Considerando cuatro porcentajes de asfalto de 4%, 4.5%, 5% y 5.5% obteniendo un diseño óptimo de asfalto de 5.01% en el diseño convencional y 5.10% con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral, en **resultados** se logró obtener una mayor resistencia a la carga de tránsito y una menor deformación en la carpeta asfáltica del pavimento. Como **conclusión** se demostró que la adición de ceniza volante puede ser usada en la construcción de carreteras, brindando a la población pavimentos con mayor resistencia.⁸

Silvestre (2019), la tesis tuvo por título "**Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima 2017**". Tesis realizada en la **Universidad César Vallejo**. Lima. Perú. Su **objetivo** principal fue comparar técnica y económicamente la mezcla tradicional y la reforzada con plástico reciclado. El **tipo** de investigación fue experimental. La **población** fue igual a la **muestra** y estuvo compuesta de 20 probetas. El **instrumento** usado fue la ficha de registro. Los **resultados** de las pruebas lograron estimar que agregar plástico reciclado desarrolla la resistencia a deformaciones, reduce su susceptibilidad de carácter térmica y aumenta la rigidez del asfalto conservando su elasticidad. Por lo tanto se pudo **concluir** que las muestras de tipo asfálticas elaboradas con plástico reciclado reducen costos de fabricación en relación a una mezcla asfáltica tradicional en caliente.⁹

Peña (2019) titulada, "**Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo**". Perteneciente a la **Universidad Ricardo Palma**. Ubicada en Lima. Perú. La presente investigación tuvo como **objetivo** determinar el porcentaje de incorporación de cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica. La investigación fue de **Tipo** descriptiva y de enfoque cuantitativo, la **población** fue de 96 briquetas y una **Muestra** de 36 briquetas con la cual se pueden realizar los diferentes ensayos. Como **resultados** se tuvo que se mostraron mejoras en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con adición hasta un 1.0% de ceniza, entonces, se afirma que la ceniza volante posee propiedades puzolánicas. La adición de ceniza se realizó en porcentajes de 0,5%, 0,75% y 1% en la mezcla asfáltica mejoró el comportamiento flujo – estabilidad de la mezcla. Se **concluyó** que utilizar las cenizas volantes en la incorporación de porcentajes por debajo de 0.75% fue el mejor valor.¹⁰

Adauto (2019) titulada, *“Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz”*. Perteneciente a la **Universidad Ricardo Palma**. Ubicada en Lima. Perú. La presente investigación tuvo como **objetivo** determinar el porcentaje de incorporación de ceniza de caña de maíz. La investigación fue de **Tipo** descriptiva y de enfoque cuantitativo, la **población** fue de 30 briquetas y una **Muestra** censal no probabilística de 30 briquetas con la cual se pueden realizar los diferentes ensayos de muestra patrón y con adiciones de ceniza de caña de maíz de 0,2%, 0,5%, 1,0%, 2,0%, 3,0% y 4,0% según el método Marshall. Como **resultados** se tuvo que se mostraron mejoras en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con adición hasta un 1.0% de ceniza, entonces, se pudo afirmar que la ceniza de caña de maíz si posee propiedades puzolánicas. La adición de ceniza se realizó en porcentajes de 0,5%, 0,75% y 1% en la mezcla asfáltica mejoró el comportamiento flujo – estabilidad de la mezcla- Se **concluyó** que utilizar las cenizas volantes en la incorporación de porcentajes por debajo de 0.75% fue el mejor valor.¹¹

Internacional

Suriano (2019) titulada, *“Mezcla asfáltica en caliente por método Marshall, adicionando cenizas volantes”*. Perteneciente a la **Universidad de San Carlos de Guatemala**. Guatemala. La presente investigación tuvo como **objetivo** determinar los parámetros Marshall para una mezcla patrón y una mezcla alterada con ceniza volante. La investigación fue de **Tipo** descriptiva y de enfoque cuantitativo, la **población** fue de 16 briquetas y una **Muestra** igual a la población con la cual se pueden realizar los diferentes ensayos. Como **resultados** se tuvo que se mostraron mejoras en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con adición hasta un 3.0% de ceniza, entonces, se pudo afirmar que la ceniza volante si posee propiedades puzolánicas según los resultados de estabilidad, flujo y porcentaje de vacío de la mezcla asfáltica. La adición de ceniza se realizó en porcentaje único de 3% en la mezcla asfáltica. Ésta mejoró el comportamiento estabilidad vs flujo de la mezcla. Se **concluyó** que utilizar las cenizas volantes mejora los parámetros dados por el ensayo Marshall.¹²

Magdi y Faiza (2019) en su investigación *“Experimental Study of Steel Slag Used as Aggregate in Asphalt Mixture”*. Paper publicado en la revista American Journal of Construction and Building Materials. Su objetivo principal fue

demostrar que la mezcla obtiene mejores características al agregarle escoria de acero (SSA). El tipo de investigación fue experimental. La población fue igual a la muestra y estuvo compuesta de 20 probetas de asfalto con distintos porcentajes (0, 50, 75 y 100%) de SSA. El instrumento usado fue la ficha de registro. Los resultados de los experimentos revelaron que la adición de SSA tiene una mejora significativa en las propiedades de mezclas en caliente. Se observó claramente un aumento en la densidad y la estabilidad y una reducción en los valores de flujo y vacíos de aire en muestras preparadas con 100% de SSA. Se concluyó que la escoria de acero puede considerarse una fuente alternativa razonable de agregado para la producción de mezclas de asfalto.¹³

Mirkovic, Tosić y Mladenovic (2019) en su investigación sobre “**Effect of Different Types of Fly Ash**”. Paper publicado en la revista Advances in Civil Engineering. Su objetivo principal fue demostrar el efecto beneficioso de la ceniza volante sobre la mezcla asfáltica. El tipo de investigación fue experimental. La población fue igual a la muestra y estuvo compuesta de 15 probetas de asfalto con distintos porcentajes (0, 5, 7,5 y 10%) de ceniza volcánica. El instrumento usado fue la ficha de registro. Las mezclas asfálticas que se han modificado con distintos agregados han demostrado que sus resultados son mejores en cuanto al dato de durabilidad al momento de compararla con las mezclas hechas de asfalto que no han tenido ninguna alteración conocidas como convencionales. Se concluyó que la ceniza volcánica puede considerarse una fuente alternativa razonable de agregado para la producción de mezclas de asfalto para así aumentar la durabilidad con respecto a lo que es el asfalto tradicional.¹⁴

Xu, Wanqiu, Shuyin, Zheren & Longtan (2018). En su investigación “**Performance Evaluation of Asphalt Mixture with Nanosized Volcanic Ash Filler**”. Paper publicado en la revista Journal of Transportation Engineering. Su objetivo principal fue demostrar que por medio de sus resultados de laboratorio que la ceniza proveniente de los volcanes debe ser capaz de crear un aumento en el rendimiento de la mezcla de asfalto. El tipo de investigación fue experimental. La población fue igual a la muestra y estuvo compuesta de 25 probetas de asfalto con distintos porcentajes (0, 0.5, 0.8 y 1%) de ceniza volcánica. El instrumento usado fue la ficha de registro. Los resultados de las pruebas han aclarado que el relleno de cenizas de tipo volcánicas al sumarle el agente modificador de estireno-

butadieno-estireno (SBS) va a mejorar el rendimiento de la mezcla de asfalto que se va a usar en alta temperatura, así también en baja temperatura. Por lo tanto se pudo concluir que con base a este estudio que la ceniza volcánica presenta resultados favorables para determinar su potencialidad de incrementación del rendimiento.¹⁵

Puello, Afanasjeva y Álvarez (2013). En su investigación que lleva por título **“Correlaciones estadísticas para la estimación de propiedades reológicas de asfaltos en estado original y envejecido”**. Artículo científico publicado en la revista ION. Su objetivo principal fue calcular correlaciones estadísticas que se usarán para estimar las propiedades de tipo reológicas de asfaltos cuando se encuentra en estado no alterado. El tipo de investigación fue experimental. La población fue igual a la muestra y estuvo compuesta de las 3 muestras de asfalto escogidas para hacer los cálculos de correlación. El instrumento usado fue la ficha de registro. Los resultados de las correlaciones logradas exponen que el índice reológico (R) es posible valorarlo con el Índice llamado de Inestabilidad Coloidal (Ic) y el otro Índice conocido como de Sulfóxidos (S=O) donde su valor fue de 83,81%, en cambio el logaritmo de la repetición de transición (log c) se obtiene por una valoración a través del Índice de Alifáticos (AI) y otro índice es el de Sulfóxidos (S=O), donde se espera un nivel de relación de 81,88%. Por lo tanto se pudo concluir que a través de los valores reológicos alcanzados de manera experimental expresan el modelamiento viscoelástico lineal de 3 asfaltos que se ensayaron, se demuestra que es viable plantear con toda confianza relaciones entre modelamiento de viscoelasticidad y las propiedades químicas.¹⁶

García (2014). Hizo una investigación que lleva por título **“Análisis del ciclo de vida de mezclas bituminosas semicalientes con árido reciclado”**. Perteneciente a la Universidad de Cantabria, Cantabria, España. Su objetivo principal fue contrastar las mezclas en varias etapas de temperatura como son caliente, semicalientes y por ultimo mezclas semicalientes. El tipo de investigación fue experimental. La población fue igual a la muestra y estuvo compuesta de las muestras de asfalto reciclado a los que se les hizo su Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El instrumento usado fue la ficha de registro. Los resultados fueron una revisión y posterior análisis de las técnicas e instrumentos empleados hasta la actualidad para conocer el ACV para carreteras. Por lo tanto se pudo concluir que

las técnicas de Análisis del Ciclo de Vida han manifestado ser muy eficaces y profundas para valorar el impacto ambiental general de todos los tipos de producto, consintiendo en el análisis de los aportes que pueden traer estas tecnologías delante a otras.¹⁷

Teorías relacionadas al tema

Variable Dependiente: Propiedades de envejecimiento El envejecimiento del asfalto consiste en la alteración de las propiedades fisicoquímicas del material y de la durabilidad de los pavimentos asfálticos.¹⁸

Resistencia: Metodología que emplea los porcentajes de vacíos y estabilidad y flujo como pruebas primordiales, esta metodología fue creada durante la segunda guerra mundial y después de acabada esta se adecuo para el uso en carreteras. Desde los años 40 este método no ha sufrido un cambio. La misma se rige por las normas MTC E 504 ASTM 1559.¹⁹

Prueba de Simulación: La prueba Hamburg Wheel-Track Device (HWTDD) se ha estandarizado en la designación AASHTO T 324 - Prueba de vía de rueda de Hamburgo de asfalto de mezcla en caliente compactado (HMA). "El método de prueba es determinar la susceptibilidad a fallas prematuras del HMA debido a debilidad en la estructura del agregado, rigidez inadecuada del aglomerante o daño por humedad". La experiencia indica que la razón por la que una mezcla falla en la prueba HWTDD a menudo se confunde con la combinación de los mecanismos de formación de surcos y daños por humedad en la prueba.²⁰

Durabilidad: Este factor tiene que ver con el envejecimiento, por lo tanto, el presente estudio se aboca al fenómeno del envejecimiento que ocurre en las mezclas asfálticas. Los procedimientos para inducir en laboratorio envejecimiento acelerado de mezclas asfálticas, simulan los efectos de envejecimiento que ocurren en cada una de las fases antes descritas. Aquí el autor estudia el ensayo de Durabilidad. Este ensayo se rige por la norma ASTM C 88.²¹

Mezcla asfáltica: Por otra parte, se presentan las bases teóricas que sustentan esta investigación, encontrando quien considera que las mezclas asfálticas son aspectos relevantes en todo pavimento flexible, las cuales generan una resistencia óptima, no obstante, los agregados o mezclas son duros materiales inertes como arena, grava, piedra triturada, escoria o polvo de roca.²²

Tipos de mezcla asfáltica: existe la mezcla asfáltica fría, esta es la opción más

asequible en el mercado, ya que no necesita calor durante el proceso. Por lo general, se usa para reparar grietas de más de una pulgada de ancho y baches que aparecen durante los meses de invierno.²³

Mezcla asfáltica caliente: el asfalto de mezcla caliente se vierte a temperaturas que oscilan entre 300 y 350 grados Fahrenheit. Es una mezcla flexible que es altamente resistente a la intemperie y capaz de repeler el agua. El asfalto de mezcla caliente se usa en días que están por encima de los 40 grados solamente, porque se enfría muy rápidamente. Se utiliza en aproximadamente un tercio de los proyectos de pavimentación. Se fabrica entre 200 y 250 grados y utiliza menos recursos de combustibles fósiles en el proceso de fabricación.²⁴

Pavimento Asfáltico: es una estructura que posee una o más capas que se ubican entre la subrasante y la superficie de rodamiento, que se construye con materiales apropiados y que tiene como función principal permitir que los vehículos se desplacen de forma cómoda y segura por una vía o área de circulación para los usuarios.²⁵

Variable Independiente: Cenizas volantes: Son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados. La composición de las cenizas depende de las características mineralógicas y condiciones de quema del carbón. Las cenizas se forman a partir de componentes no combustibles de carbón y, también, de partículas no quemadas debido a la combustión incompleta del carbón pulverizado en la cámara de combustión, a una temperatura variable entre 1200 y 1600°C.²⁶

Carbón mineral: producido y utilizado en Brasil como combustible, en complejos energéticos e industriales, contiene altos contenidos de materia mineral (hasta el 60%) responsable por la generación de los residuos.²⁷

Características físico-químicas, la ceniza seca o volante generada: es vendida a las cementeras y concreteras, que las emplean en la producción del cemento Portland o como adición mineral al concreto, sin embargo, las cenizas volantes no alcanzan el mismo mercado, constituyendo así un gran problema de orden ambiental. La textura normalmente áspera, fundida y vitrificada de la ceniza volante hace de ella un sustituto ideal para los agregados.²⁸

Ceniza volante en Perú: En el Perú no hay suficiente información sobre la disposición final de las cenizas volantes debido a que las empresas termoeléctricas generadoras de energía a partir de la quema de combustible fósil (carbón mineral), son reservadas en cuanto a esta información. Sin embargo, con respecto a la ceniza volante es uno de los tipos de adiciones activas empleadas en la fabricación de cementos y hormigones.²⁹

Ceniza de combustible pulverizado: Es la ceniza precipitada electrostáticamente de los humos escapados de las estaciones de fuerza motriz que funcionan a base de carbón, y es la puzolana artificial más común.³⁰

Cenizas volantes de carbón: están en el rango de menos de 1 μm a más de 1mm de tamaño. Las partículas de cenizas volantes apropiadas para ser usadas como puzolana en concretos pasan en su mayoría el tamiz N° 325 (45 μm) con contenidos de humedad presentes menores a 1%. Su composición química es compleja, la mayoría son de naturaleza silíceas y de bajo contenido de óxido de calcio, es decir: óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3), óxido de calcio (CaO), dióxido de silicio (SiO_2).³¹

Las mezclas asfálticas que se han modificado con distintos agregados han demostrado que sus resultados son mejores en cuanto al dato de durabilidad al momento de compararla con las mezclas hechas de asfalto que no han tenido ninguna alteración conocidas como convencionales, esto da la oportunidad de manipular las mezclas y adecuarlas a unas condiciones a pedido del jefe de proyecto que son muy específicas según las necesidades que posea el proyecto en cuestión. Con esta investigación se puede afianzar la idea de sustituir la ceniza volcánica por la ceniza volantes para modificar asfaltos para así aumentar la durabilidad con respecto a lo que es el asfalto tradicional.³²

Tipo de ceniza volante: esta es usada comúnmente en el Perú es del tipo F, producidas normalmente a partir de la combustión de antracitas y carbones bituminosos y cuya suma de óxidos ácidos es mayor del 70%, En cuanto a las cenizas volantes es retenida en el tamiz número 200 con un grosor de 2mm.³³

Variable Independiente: Plástico PET: Químicamente el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres. Los Métodos de modificación de mezclas asfálticas se

usan para realizar la modificación de mezclas asfálticas mediante la incorporación de diferentes residuos sólidos u otro tipo de residuos, existen tres métodos principales los cuales son el proceso húmedo, proceso seco y la sustitución del agregado. En el proceso húmedo, el PET se mezcla completamente con el cemento asfáltico para formar una mezcla homogénea antes de agregarla al agregado. En el proceso seco, inicialmente se procede a mezclar el agregado con el cemento asfáltico, conforme a lo establecido en los diferentes métodos de diseño de mezclas asfálticas. Seguidamente, una vez que el agregado y el cemento asfáltico se adhieran adecuadamente, se incorpora el PET a la mezcla asfáltica.³⁴ Para la realización de los cálculos de diseño y la dosificación de los componentes de la mezcla asfáltica se procede de forma similar al proceso húmedo. La mayoría de los estudios actuales alrededor del globo, sobre modificación de las mezclas asfálticas con PET y otros residuos, optan por el proceso seco.³⁵

Preparación de la mezcla se utiliza un grado de finura para los agregados entre los cuales se encuentra el PET de acuerdo a su granulometría retenida en el tamiz número 40 y pasa por la malla número 10 es decir de 2 mm. Rahman y Wahab realizaron un estudio en el que hasta un 25 por ciento, en volumen, de agregado fino, con el tamaño de 1.18 mm a 2.36 mm, se reemplazó con partículas de PET del mismo tamaño llegando a la conclusión que el asfalto modificado con PET se considera adecuado para ser utilizado en pavimentos de carreteras.³⁶

Técnica más especializada para medir el envejecimiento del pavimento flexible: Espectroradiometría

Espectroradiometría en la evaluación de la condición de envejecimiento en pavimentos flexibles

Las técnicas de teledetección o percepción remota permiten la captura de información de objetos sobre la superficie terrestre sin tener contacto con ellos, esto es posible mediante la medición de fenómenos físicos como la reflexión, la refracción y la absorción de energía proveniente de la luz solar, que genera cada objeto de la superficie terrestre en distintas longitudes de onda del espectro electromagnético, denominado firma espectral o huella espectral, siendo esta única para cada objeto. Hoy en día existen estudios que aplican el uso de la radiación espectral, capturada por espectroradiómetros de campo.

III. MÉTODOS

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación

La investigación aplicada en su reglamento CONCYTEC la investigación aplicada donde esta se enfoca en establecer a través del conocer de modo científico los reglamentos, metodologías y tecnología para solucionar la insuficiencia definida.³⁷

Es aplicada debido a que se busca poner en práctica los conocimientos previos en mejoramiento de la mezcla asfáltica con el uso de la ceniza volante y PET, con la finalidad de tomar decisiones en la elección de una mejorar las propiedades de envejecimiento con los diversos porcentajes de la ceniza y PET, en base a los resultados obtenidos del laboratorio de acuerdo al análisis documental y los criterios de estabilidad, flujo y durabilidad.³⁷

Diseño de la investigación

El tipo de diseño es cuasi experimental porque consiste en manipular ligeramente de por lo menos la variable independiente para visualizar su consecuencia en la variable dependiente se diferencia de los experimentos puros por el nivel de seguridad que se logra sobre todos los grupos, es decir son grupos intactos.³⁸

De acuerdo la investigación es de tipo de diseño cuasi experimental porque se va adicionar PET y cenizas volantes a la mezcla asfáltica para evaluar el efecto en las propiedades del envejecimiento. Y la muestra es No Aleatoria, porque se colocó la dirección en la que voy a mejorar.

Además, dentro del mismo se encuentra que la investigación es correlacional, se usa para hacer el cálculo del grado en que se relacionan las variables, es el estudio donde se hacen correlaciones como aquellos que buscan conocer el grado en que se relacionan dos o más variables, conceptos o categorías.³⁹

Para ello miden cada una de las variables relacionadas y se sustentan en la hipótesis. Es correlacional ya que busca saber en qué grado se relacionan las variables tereftalato de polietileno (PET), cenizas volantes y las propiedades de envejecimiento del pavimento.

3.2 Variables, operacionalización.

Variable Independiente (VI): Incorporación de cenizas volante

Polvillo generado por las termoeléctricas, reutilizado para el diseño de mezcla en reemplazo porcentual del cemento.

Definición operacional

La ceniza volante es la que queda luego de ser quemado el carbón o cualquier otro elemento que genere cenizas después de quemado, esto es incorporado a la mezcla asfáltica y posteriormente se miden las propiedades de envejecimiento.

Variable Independiente (VI): Incorporación de plástico PET

PET es un polímero de condensación termoplástico y material muy usado para producir una gran diversidad de envases de bebida, como los refrescos y fibras textiles.

Definición operacional

Este polímero que es usado para envasar agua y refresco queda como desecho contaminante al medioambiente, esto es incorporado a la mezcla asfáltica y posteriormente se miden las propiedades de envejecimiento.

Variable Dependiente (VD): Propiedades de envejecimiento del pavimento flexible.

Propiedades del envejecimiento del pavimento flexible El envejecimiento del asfalto consiste en la alteración de las propiedades fisicoquímicas del material y de la durabilidad de los pavimentos asfálticos.

Definición operacional

El desarrollo tecnológico ha llevado a la industria del asfalto a usar agregados como el plástico PET y las cenizas volantes para mejorar las características reológicas, elásticas, fisicoquímicas y mecánicas. Ayudando a que el asfalto tarde mucho en envejecer, a través de mediciones de laboratorio de estudios previos.

Operacionalización

La operacionalización de las variables sirve para identificar las dimensiones e indicadores necesarios para alcanzar el objetivo del estudio. Ver tabla 2.

3.3 Población, Muestra y muestreo

Población:

De acuerdo a esto los metodólogos plantean que la población representa a los elementos que se van a estudiar de acuerdo al universo en estudio donde se considera los factores que muestran los valores y resultados de acuerdo al estudio realizado.⁴⁰

Todas las probetas que se encuentran para su análisis y diseño por medio de la revisión documental con mezclas de asfalto 60/70 y sus ensayos mecánicos, que

resulten de las pruebas de Marshall y de las distintas combinaciones de los agregados con la adición de cenizas volante y de plástico PET aplicado en los 2 diseños adicionales. La avenida elegida a asfaltar es la Av. Los Alisos con la intersección de la Av. 200 millas, esta sin asfaltar la cual es llamada trocha, ésta se extiende de este a oeste en una buena parte del distrito de San Martín de Porres.

Muestra

Según lo planteado por metodólogos define que la muestra está representada por una porción del universo de estudio que sea representativa de esta donde se realizara los valores correspondientes. La muestra estará representada por las 38 probetas para realizar de mezcla asfáltica 60/70 con la incorporación de cenizas volante y plásticos PET para un total de 36 y 2 diseños de mezclas, distribuidos de la siguiente manera.⁴¹

Tabla 1: *Resumen de análisis*

ENSAYO	0.6 % Cenizas volantes	0.25% de Plástico PET.	0.72 % Cenizas volantes	0.45% de Plástico PET.	0.92 % Cenizas volantes	0.55% de Plástico PET.
Método Marshall Estabilidad	2	2	2	2	2	2
Flujo	2	2	2	2	2	2
%Vacíos	2	2	2	2	2	2
Total	6	6	6	6	6	6

Fuente: Elaboración Propia

La distancia a asfaltar será de 1km dividida 500 metros antes de la intersección y 500 metros después y es una zona con bajo tránsito vehicular. El ensayo Marshall se basa en la norma ASTM D-1559 o la norma peruana MTC E 504. Consiste en ensayar una serie de probetas, cada una preparada con la misma granulometría y con diferentes contenidos de asfalto. El tamaño de las probetas es de 2.5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro. Dichas probetas se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar el asfalto y los agregados, mezclar y compactar. Las probetas preparadas con el método se rompen en la prensa Marshall, determinado su estabilidad (resistencia) y deformación. Si se desean conocer los porcentajes de vacíos de las mezclas así fabricadas, se

determinarán previamente los pesos específicos de los materiales empleados y de las probetas compactadas, antes del ensayo de rotura. En la norma consultada no se encuentra la cantidad de probetas indicadas para el ensayo.

Tabla 2: *Ensayos y frecuencias*

Mezcla Asfáltica	Contenido de Asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista/planta
	Granulometría			
	Ensayo Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista/planta
	Temperatura	-	Cada volquete	Pista/planta
	Densidad	MTC E 506, 508 y 510	1 cada 250 m ²	Pista compactada
	Espesor	MTC E 507	Cada 250 m ²	Pista compactada
	Resistencia al deslizamiento	MTC E 1004	1 por día	Pista compactada
	Adherencia	MTC E 519	1.000 m ²	Pista/planta
	Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T283	1.000 m ²	Pista/planta
	Prueba de Hamburgo Wheel Track	AASHTO T324	1.000 m ²	Pista/planta
Cemento Asfáltico	Según 436.05		√ ⁵ (*)	Tanques Térmicos al llegar a obra

Fuente: Manual de carretera: sección 433 pavimento de concreto asfáltico con mezclas porosas

Muestreo

Por ser la población y la muestra muy reducida se decidió por el muestreo no probabilístico, se conoce como un proceso de elección donde el investigador escoge la muestra por criterios propios y no al azar.⁴²

En tal sentido el muestreo es no probabilístico, pues no depende de la probabilidad, sino de los principios de elección del tipo de carretera y de las características propias de la investigación (manual de carreteras) o del investigador, lo que deriva al desarrollo de la toma de decisiones del investigador.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

La técnica consiste en las herramientas utilizadas para conseguir la recolección de la información necesaria por medio de varios métodos entre los que están los

cuestionarios entrevistas, revisión documental, análisis de contenido y observación directa entre otros.⁴³ Para este estudio tuvo como finalidad realizar un buen análisis y así lograr la información adecuada y necesaria que ayudara lograr la finalidad de la investigación, se empleara las técnicas correspondientes a la revisión documental y posteriormente su análisis.

Revisión documental

Esta técnica es donde se toma en cuenta a la información de manera digital de acuerdo a la información existente con la probabilidad de que allá servido de resultado a otras investigaciones considerando las tabulaciones o que están formen parte del resultado de la investigación.⁴⁴

Una vez indicado en este tipo de técnica se puede proceder con el estudio a través de una revisión de tipo documental con la finalidad de saber antecedentes, teorías relacionadas, normativas, reglamentos entre otros para lograr un buen análisis y sustento del estudio.

El método del análisis documental, el cual es retrospectivo porque, dará la oportunidad de obtener datos mediante el acceso a la información de los ensayos realizados de las tesis con antecedentes de mejoramiento de mezclas asfálticas, los cuales se buscarán en los repositorios de las Universidades que cuentan con la carrera de Ingeniería Civil a nivel nacional e internacional; así mismo, también se obtendrá la teoría del mejoramiento de subrasante en los Artículos Científicos, los cuales se encontrarán en las páginas web de las revistas de investigación on-line.

3.5 Procedimientos

Se realizó en la búsqueda de las tesis referentes a nuestra investigación por nuestra técnica documental, en base a las similitudes condiciones (tipo de mezcla asfáltica, tipo de aditivos (cenizas volantes y PET), tipo de ensayos) para posteriormente a ello, obtener sus datos mediante la Interpolación respetando los aportes; para luego, poder realizar nuestros propios análisis de resultados, los mismos que serán presentado en tablas y gráficos.

3.6 Método de Análisis de datos

Para la selección de datos se ejecutará mediante la comparación a dos grupos de investigación: un primer grupo que fueron realizados con una causa y efecto, contra otro grupo, en muy similar condición, pero que no podrán ser realizados,

pero si comparados (documental); permitiendo tomar apuntes de sus resultados del primero en forma de datos interpolados, y asemejarlos a una posible educación, pues tienen un similar antecedente e igual condición experimental.

3.7 Aspectos éticos

La investigación respetara la autoría de estudios previos y debidamente referenciados usando el estilo ISO 690 y 690-2 donde se considera la escritura y citas. Así mismo se utilizó el programa Turniting para el análisis de autenticidad de la información. Se va a crear un proyecto inédito de mi autoría con resultados auténticos y seguros. Responsabilidad por sanciones de UCV por plagio.

IV. RESULTADOS

El tema propuesto fue el de, Evaluar la Mezcla Asfáltica 60 -70 incorporando Cenizas Volcánicas y Plástico PET para disminuir el envejecimiento Pavimento Flexible S.M.P - 2019.

Trabajo De Obtención de Datos

En el transcurso de recolección de datos se obtendrán de manera matemática ya que debido a la pandemia del COVID 19 en el año 2020 desde Marzo ha llevado a algunas investigaciones que se han visto frustradas ya que los experimentos habituales no se pueden efectuar porque los laboratorios han tenido problemas para trabajar como habitualmente lo hacían debido al estado de emergencia y demás de problema en la recolección materia prima como es recolectar la materia prima que es la ceniza volcánica debido a problemas por la pandemia de movilización por lo que hemos optado cambiar de aditivo por las Cenizas Volantes. De ahí que las investigaciones efectuadas fueron de tipo documental y el con el análisis matemático de interpolación servirán de apoyo para resolver la circunstancia planteada.

Análisis documental

Usando tesis y artículos científicos de referencias a nivel nacional e internacional se encontrarán los aportes de investigaciones previas donde se obtendrán los datos de ensayos previos cuyos datos servirán de base para hacer los cálculos necesarios y así construir gráficas y tendencias que reflejan resultados teóricos apoyados con la matemática.

Tema modificado debido a la pandemia la movilización para realizar la recolección de la ceniza volcánica en Arequipa y los estudios documentales con este tipo de ceniza volante son deficientes, es por lo que se efectuó una evaluación de Mezcla Asfáltica 60 -70 incorporando ceniza volante y plástico PET para disminuir el envejecimiento de pavimento flexible en San Martin de Porres.

Trabajo de laboratorio

Se analizaron 38 briquetas para realizar el diseño de la mezcla asfáltica por medio de pruebas en el laboratorio de realizo el ensayo Marshall para determinar los parámetros tales como estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos y patrón para saber las propiedades de envejecimiento de la mezcla asfáltica que se visualiza a continuación fueron logradas por medio de análisis documental a los ensayos practicados y presentes en las tesis para la muestra patrón.

Para mejora la mezcla asfáltica se utilizó el Plástico PET, que inicialmente se encontraba en botellas, mandará triturar a 4.75 ml de longitud por 3 ml de espesor. Las cenizas volantes de 1 micra.

Las tablas y gráficas obtenidas para el diseño de la mezcla fueron obtenidas por el estudio de Peña (2019) titulada; “Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo”

Tabla 3: Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes

Parámetros	Unidad	%CV 0.5	%CV 0.75	%CV 0.85	%CV 1
Estabilidad	Kgf	1495.31	1530.9	1481.1	1583.09
Flujo	Pulgadas	13	13.3	13.7	14.7
Estabilidad/flujo	Kg/cm	3251	3827	3769	3892

Fuente: Peña, 2019

De acuerdo a los valores obtenidos en diversos porcentajes de cenizas volantes fueron 0.5%, 0.75%, 0.85 % y 1.0%, con sus respectivos valores de estabilidad, flujo, y relación estabilidad vs flujo necesarios bases para poder realizar las interpolaciones lineales necesarias para obtener los porcentajes estudiados.

Interpolación lineal

La interpolación es un proceso de estimación de valores entre los puntos conocidos. En MATLAB tiene funciones de interpolación basadas en polinomios y transformaciones de Fourier. La interpolación se llama obtener nuevos puntos basados en el conocimiento de un conjunto de puntos. También la interpolación es una técnica muy útil para aproximar funciones, para estimar valores intermedios de las mismas en una serie de datos.

Calcular la Estabilidad, Flujo % vacíos Marshall con el método de interpolación lineal

Se procedió calcular la Estabilidad, Flujo y % vacíos Marshall por muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes se puede apreciar en los gráficos a continuación.

Ecuación 1 de interpolación se expresa:

$$Y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

De acuerdo a las comparaciones de las tesis encontradas tales como:

Estabilidad

1- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.6%	
0.5	1495.31
0.6	Y1
0.75	1530.9

$$Y1 = 1495.31 + \frac{0.6 - 0.5}{0.75 - 0.5} * (1530.9 - 1495.31)$$

$$Y1 = 1509.55$$

2- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.78%	
0.75	1530.9
0.78	Y2
0.85	1481.1

$$Y2 = 1530.9 + \frac{0.78 - 0.75}{0.85 - 0.75} * (1481.1 - 1530.9)$$

$$Y2 = 1515.96$$

3- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.92%	
0.85	1481.1
0.92	Y3
1	1583.09

$$Y_3 = 1481.1 + \frac{0.92 - 0.85}{1 - 0.85} * (1583.09 - 1481.1)$$

$$Y_3 = 1528.70$$

Tabla 4: Resumen de estabilidad de ensayos con cenizas volantes

Porcentaje de volantes	Estabilidad (kgf)
0.6	1509.5
0.78	1515.96
0.92	1528.70

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede visualizar en la tabla 3 el porcentaje de ceniza volantes de acuerdo a cada estabilidad lograda en kgf a 0.6% fue de 1509.5 kgf, con respecto 0.78% fue de 1515.96 kgf y por último a 0.92 % con 1528.70 kgf, se puede evidenciar que a medida que aumenta la dosificación de ceniza volantes aumentan los valores de estabilidad kgf.

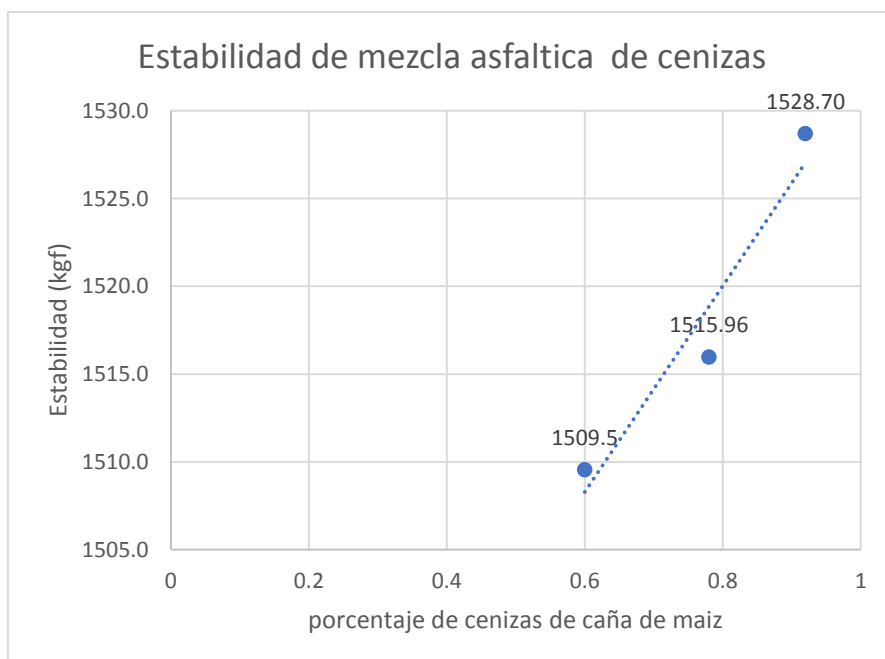


Figura 1: Estabilidad de la mezcla asfáltica con cenizas volantes

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 1 se puede visualizar la tendencia que presentan es de incremento de los valores de estabilidad a medida que aumenta el porcentaje de ceniza volantes, ya que el mayor valor de estabilidad es de 1528.70 kgf para un porcentaje de cenizas volantes de 0.92%, es decir que para lograr buenos valores de estabilidad se requiere una cantidad considerable de cenizas volantes.

Flujo

- 1- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.6%	
0.5	18.4
0.6	Y1
0.75	16

$$Y1 = 18.4 + \frac{0.6 - 0.5}{0.75 - 0.5} * (16 - 18.4)$$

$$Y1 = 17.44$$

- 2- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.78%	
0.75	18.4
0.78	Y2
0.85	15.72

$$Y2 = 18.4 + \frac{0.78 - 0.75}{0.85 - 0.75} * (15.72 - 18.4)$$

$$Y2 = 17.60$$

- 3- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.92%	
0.85	15.72
0.92	Y3
1	16.28

$$Y3 = 15.72 + \frac{0.92 - 0.85}{1 - 0.85} * (16.28 - 15.72)$$

$$Y3 = 15.9$$

Tabla 5: Resumen de valores de flujo con cenizas volantes

Porcentaje de cenizas volantes	Flujo (pulgadas ("))
0.6	17.44
0.78	17.60
0.92	15.98

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede evidenciar en la tabla 4 el primer valor alcanzado de porcentaje de cenizas volantes fue de 0.6% con 17.44" este valor aumenta en 0.78% a 17.60", y el ultimo valor a 15.98" a 0.92%, es decir que se puede inferir que a medida que aumenta la dosificación de cenizas volantes aumenta el flujo con respecto a su flexibilidad a deformarse.

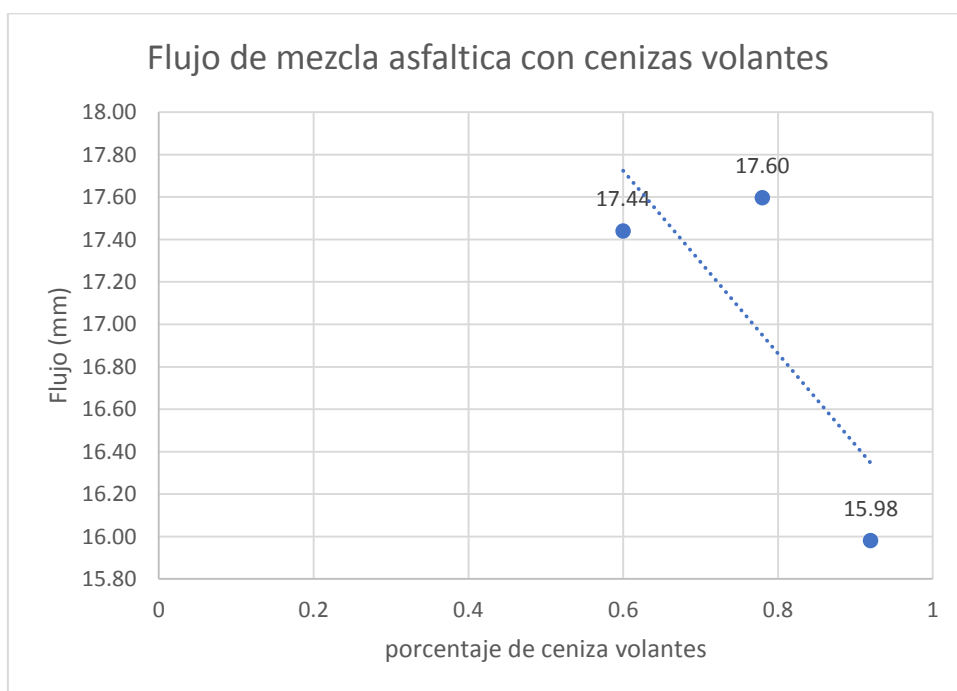


Figura 2: Flujo de mezcla asfáltica con cenizas de cenizas volantes

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede observar en la figura 3 que a medida que aumenta la dosificación de cenizas volantes aumenta el flujo logrando un máximo valor a 0.78% de cenizas un 17.60 pulgadas, de acuerdo a esta tendencia de aumento exponencial del flujo aumenta y disminuye no presenta uniformidad en los valores es decir que la mezcla asfáltica pudo sufrir cambios por la mala manipulación de esta.

Relación estabilidad/flujo

1- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.6%	
0.5	3251
0.6	Y1
0.75	3827

$$Y1 = 3251 + \frac{0.5 - 0.6}{0.75 - 0.5} * (3827 - 3251)$$

$$Y1 = 3481.4$$

2- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.78%	
0.75	3827
0.78	Y2
0.85	3769

$$Y2 = 3827 + \frac{0.78 - 0.75}{0.85 - 0.75} * (3769 - 3827)$$

$$Y2 = 3809.6$$

3- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.7%	
0.85	3769
0.92	Y3
1	3892

$$Y3 = 3769 + \frac{0.92 - 0.85}{1 - 0.85} * (3892 - 3769)$$

$$Y3 = 3547$$

Tabla 6: Resumen de estabilidad/flujo con cenizas volantes

Porcentaje de cenizas volantes.	Estabilidad/flujo(kgf/cm)
0.6	3481.40
0.78	3809.60
0.92	3826.4

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se analizan los valores obtenidos de la dosificación de ceniza volantes con respecto a los valores de relación estabilidad flujo en kgf/cm fueron de 0.6% con mayor valor de 3481.40 y luego le sigue 0.78% con 3809.60 y por último está a 0.92% con 3826.4, de acuerdo a estos valores se puede decir que cuando aumenta el porcentaje de cenizas volantes aumenta la relación estabilidad flujo permitiendo un equilibrio entre la rigidez y su resistencia al corte a la deformación sea mayor de acuerdo a la carga vehicular.

Por consiguiente, los datos obtenidos en las interpolaciones respectivas se proceden a realiza la siguiente gráfica tal como se muestra a continuación:

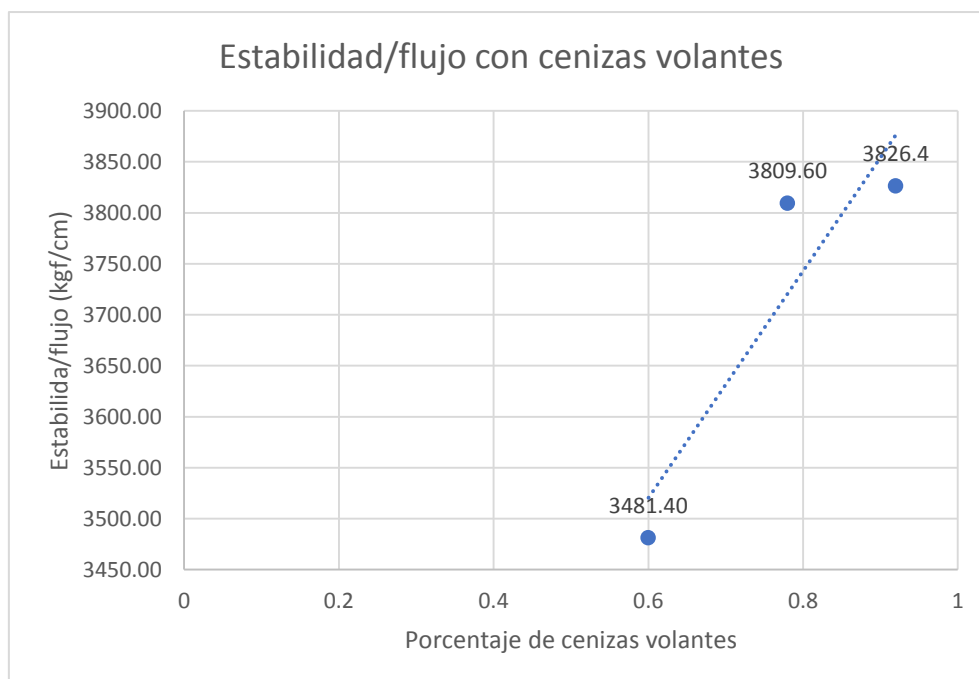


Figura 3: Estabilidad/flujo para ensayo con cenizas volantes

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados alcanzado con respecto a la estabilidad versus flujo se puede mencionar que se presenta la tendencia de un crecimiento exponencial con el valor de 0.92% de cenizas se alcanza en mayor valor de 3826.4 kgf/cm, de

acuerdo a esto se puede decir que se debe encontrar un punto intermedio para lograr una buena rigidez y aumente las propiedades de envejecimiento y ser más durable en el tiempo.

Adauto (2019) titulada “Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz”

Tabla 7: Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas de caña de maíz como llenante mineral para porcentaje de vacíos

	%CCM 0.5	%CCM 2	%CCM 3	%CCM 4
% vacíos	3.9	3,7	3.5	3.1

Fuente: Adauto, 2019

De acuerdo a los valores obtenidos en diversos porcentajes de cenizas de caña de maíz fueron 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0% y 4.0% con sus respectivos valores de % vacío necesario base para poder realizar las interpolaciones lineales necesarias para obtener los porcentajes estudiados.

Porcentaje de vacíos

- 4- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 0.4%	
0.5	3.9
0.4	Y1
2	3.7

$$Y1 = 3.9 + \frac{0.4 - 0.5}{2 - 0.5} * (3.9 - 3.7)$$

$$Y1 = 3.91$$

- 5- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas de caña de maíz.

Para 2.5%	
2	3.7
2.5	Y2
3	3.5

$$Y2 = 3.7 + \frac{2.5 - 2}{3 - 2} * (3.5 - 3.7)$$

$$Y2 = 3.6$$

6- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas de caña de maíz

Para 3.5%	
3	3.5
3.5	Y3
4	3.1

$$Y3 = 3.5 + \frac{3.5 - 3}{4 - 3} * (3.1 - 3.5)$$

$$Y3 = 3.3$$

Tabla 8: Resumen de porcentaje de vacíos para ensayo con cenizas de caña de maíz

Porcentaje de cenizas de caña de maíz	Vacíos (%)
0.4	3.91
2.5	3.6
3.5	3.3

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede apreciar en la tabla 6 en menor porcentaje de cenizas de caña de maíz de 0.4% con un porcentaje vacío 3.91 a medida que aumenta los porcentajes de cenizas de caña de maíz, ya que la tasa de porcentaje de vacíos disminuye lo que aumenta indirectamente en su durabilidad porque disminuye los vacíos en la mezcla asfáltica.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente gráfica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

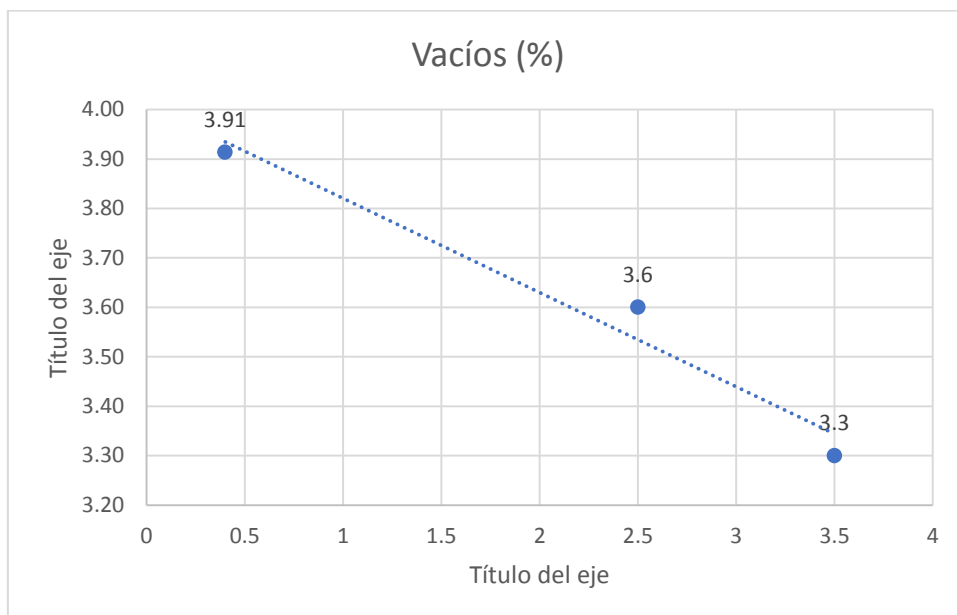


Figura 4: Vacíos en mezcla asfáltica con cenizas de caña de maíz
Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede apreciar en la figura 5 a 0.4% de ceniza de caña de maíz el porcentaje de vacío fue de 3.91, y se disminuye los vacíos a medida que se le agrega estas cenizas hasta 3.5% obteniendo a 3.3%, se puede inferir que con esta adición de un mayor porcentaje de cenizas disminuyen los vacíos que se forman en la mezcla asfáltica que son causantes de ahuellamiento o fracturas que causan disminución de envejecimiento del mismo.

De acuerdo con todos los resultados obtenidos se puede concluir todos los parámetros analizados de estabilidad, flujo, estabilidad/flujo, % vacío tal como se resume en la tabla a continuación:

Tabla 9: Resumen de valores para ensayo con cenizas volantes

%Cenizas volantes	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	Estabilidad/flujo (kgf/cm)	%Cenizas de caña de maíz	% Vacío
0	Mínimo 815	16 Máximo	Máximo 4000	0	Máximo 5
0.6	1509.5	17.44	3481.40	0.4	3.91
0.78	1515.96	17.60	3809.60	2.5	3.6
0.92	1528.70	15.98	3826.4	3.5	3.3

Fuente: Elaboración Propia

A medida que aumenta el porcentaje de cenizas volantes de 0.60%, 0.78% y 0.92% disminuye los valores de % vacíos y aumentando los parámetros del flujo los estabilidad, estabilidad/flujo y el parámetro que es decir aumenta su flexibilidad del pavimento flexible dando un porcentaje óptimo de cenizas de 2.5 y de 3.6 para % de vacíos y cumple con los parámetros establecidos en el manual de diseño del estado peruano EG-2013 que puede ser aplicada en la pavimentación de las carreteras.

Tesis 2

Corbacho (2018) Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018

Tabla 10: Resumen de parámetros Marshall con diversos porcentajes de PET

%PET	Estabilidad	Flujo (pulgadas)	% Vacío	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0.2	1131.87	13	3.17	3078
0.4	978.91	13.3	3.36	2759
0.5	899.10	13.7	3.59	2593
1.2	856.30	14.7	4.85	5073

Fuente: Corbacho, 2018

Los parámetros determinados por el método Marshall cuando se adiciona PET son estabilidad, flujo, % vacíos, relación estabilidad versus flujo, los cuales son importantes para tener los datos que sirven de base a las interpolaciones para conseguir el valor porcentual del PET que se está analizando en el estudio

Estabilidad

1. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.25 %	
0.2	1131.87
0.25	1093.63
0.4	978.91

$$Y1 = 1131.87 + \frac{0.25 - 0.2}{0.4 - 0.2} * (978.91 - 1131.87)$$

$$Y1 = 1093.63$$

2. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para.0.45 %	
0.4	978.91
0.45	971.246875
1.2	856.3

$$Y2 = 978.91 + \frac{0.45 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (856.3 - 978.91)$$

$$Y2 = 971.25$$

3. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para.0.55 %	
0.4	978.91
0.55	955.920625
1.2	856.3

$$Y3 = 856.53 + \frac{0.55 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (856.30 - 978.91)$$

$$Y3 = 955.92$$

Tabla 11: Resumen de valores de estabilidad con PET

Porcentaje de PET	Estabilidad (kgf)
0.25	1093.63
0.45	971.25
0.55	955.92

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los valores logrados estabilidad de acuerdo a cada porcentaje de PET se puede mencionar que cuando se encuentra en un porcentaje de 0.25% su valor fue de 1093.63 kgf en cambio para 0.45% estuvo en 971.25 kgf y por último a 0.55% se logró 955.92 kgf, en base a lo planteado en los resultados alcanzados que a medida que aumenta el porcentaje de PET disminuye su estabilidad.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

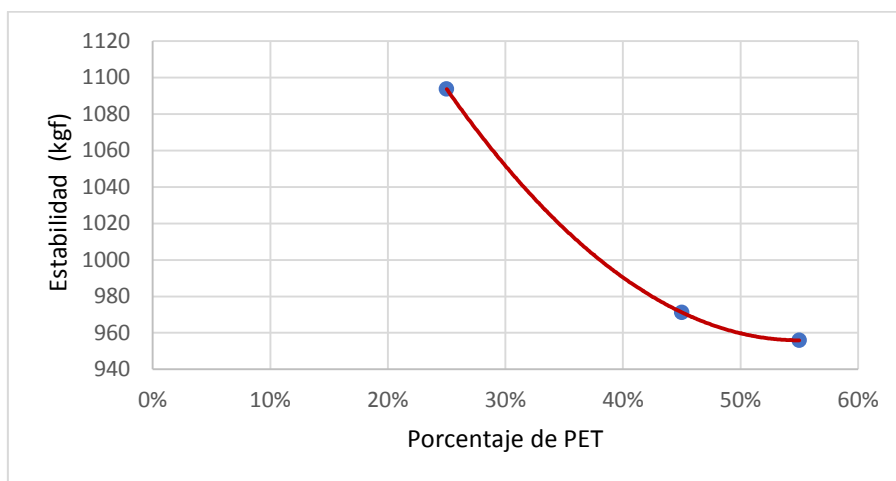


Figura 5: Estabilidad con PET

Fuente: Elaboración Propia

Una vez representado los valores de estabilidad de la mezcla asfáltica con PET, disminuye a medida que aumenta el porcentaje de PET de 0.25%, 0.45% y 0.55% este empieza a disminuir de 1093.63 kgf, 971.25 kgf y 955.92 kgf, logrando una rigidez intermedia que aumente su envejecimiento prematuro y disminuyendo su fragilidad.

Flujo

- 1- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para.0.25 %	
0.2	13
0.25	13.075
0.4	13.3

$$Y1 = 13 + \frac{0.25 - 0.2}{0.4 - 0.2} * (13.3 - 13)$$

$$Y1 = 13.075$$

- 2- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para.0.45 %	
0.4	13.3
0.45	13.3875
1.2	14.7

$$Y1 = 13.3 + \frac{0.45 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (14.7 - 13.3)$$

$$Y1 = 13.38$$

3- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para.0.55 %	
0.4	13.3
0.55	13.5625
1.2	14.7

$$Y1 = 13.3 + \frac{0.55 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (14.7 - 13.3)$$

$$Y1 = 13.56$$

Tabla 12: Resumen de valores de flujo con PET

Porcentaje con PET	Flujo (pulgadas ("))
0.25	13.075
0.45	13.3875
0.55	13.5625

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los valores de adición de PET de 0.25%,0.45% y 0.55% se obtienen diversos valores de flujo entre los que se encuentran para cada porcentaje mencionado anteriormente 13.075", 13.38"y 13.56", es necesario mencionar que a medida que aumenta el porcentaje de PET, aumenta el flujo es decir que se comporta con una mejor flexibilidad la mezcla asfáltica para así contribuir a disminuir el envejecimiento prematuro.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

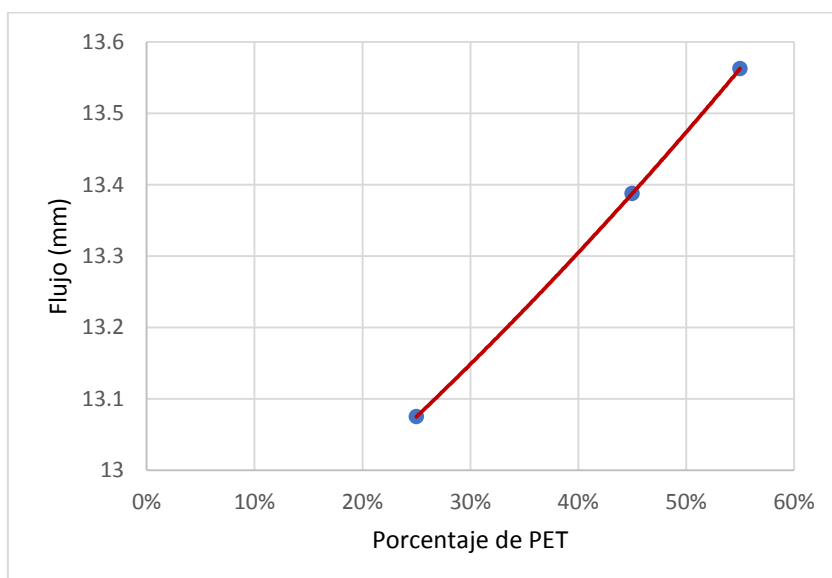


Figura 6: Flujo patrón para ensayo con PET

Fuente: Elaboración Propia

Una vez planteado los valores respectivos de la mezcla asfáltica con adición de PET dosificada de la siguiente manera en 0.3%, 0.45% y 1%, aumentando el flujo a medida que aumenta su dosificación. Es decir que se logra alcanzar con el aumento de este parámetro menor deformación de la mezcla asfáltica.

Relación estabilidad/flujo

1- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.25%	
0.2	3078
0.25	2998.25
0.4	2759

$$Y1 = 3078 + \frac{0.25 - 0.2}{0.4 - 0.2} * (2759 - 3078)$$

$$Y1 = 2998.25$$

2- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.45%	
0.4	2759
0.45	2903.625
1.2	5073

$$Y2 = 2759 + \frac{0.45 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (5073 - 2759)$$

$$Y2 = 2903.62$$

3- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.55%	
0.4	2759
0.55	3192.875
1.2	5073

$$Y3 = 2759 + \frac{0.55 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (5073 - 2593)$$

$$Y3 = 3192.87$$

Tabla 13: Resumen de valores estabilidad/flujo con PET

Porcentaje de PET	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0.25	2998.25
0.45	2903.625
0.55	3192.875

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los valores obtenidos de estabilidad/flujo se puede evidenciar que en porcentaje de cenizas volantes de 0.25% fue de 2998.25 kgf/cm, en cambio al 0.45% estuvo en 2903.625 kgf/cm y por ultimo a 0.55 % con 3192.875 kgf/cm, en base a los resultados se puede mencionar que cuando a mayor dosificación de porcentaje de PET disminuye la relación estabilidad versus flujo, lo cual es favorable para evitar que el pavimento asfaltico no sea tan rígido en aumente su vida útil.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

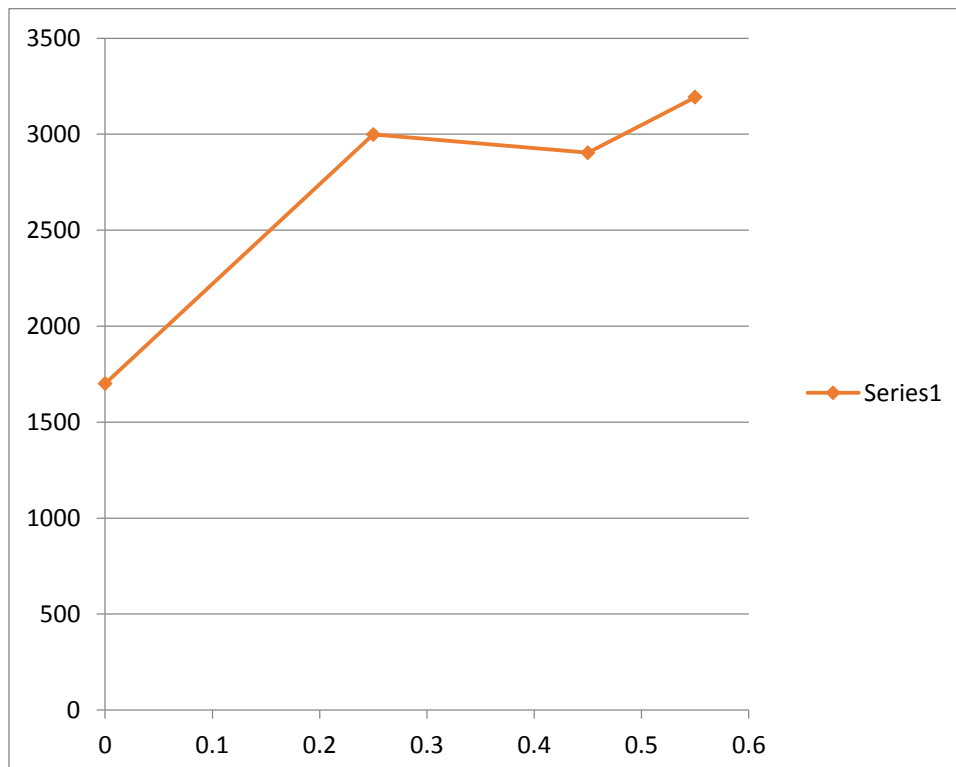


Figura 7: Estabilidad/flujo para ensayo con PET

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a la tendencia de la estabilidad versus flujo con respecto a los porcentajes de PET de 0.25%, 0.45% y 0.55%, se puede decir que a medida que se aumenta el porcentaje de PET aumenta la relación estabilidad versus flujo, lo que va mejorando su capacidad a deformarse por acción de la carga convirtiéndolo en una mezcla asfáltica con mayor flexibilidad.

Porcentaje de vacíos

4- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.25%	
0.2	3.17
0.25	3.2175
0.4	3.36

$$Y1 = 3.17 + \frac{0.25 - 0.2}{0.4 - 0.2} * (3.36 - 3.17)$$

$$Y1 = 3.217$$

5- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.45%	
0.4	3.36
0.45	3.453125
1.2	4.85

$$Y2 = 3.36 + \frac{0.45 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (4.85 - 3.36)$$

$$Y2 = 3.45$$

6- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para ser empleado en los ensayos con PET

Para 0.55%	
0.4	3.36
0.55	3.639375
1.2	4.85

$$Y3 = 3.36 + \frac{0.55 - 0.4}{1.2 - 0.4} * (4.85 - 3.36)$$

$$Y3 = 3.64$$

Tabla 14: Resumen de porcentaje de vacíos para ensayo con PET

Porcentaje de PET	Vacíos (%)
0.25	3.2175
0.45	3.453125
0.55	3.639375

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los porcentajes de vacíos en cada dosificación utilizada de PET de 0.25%,0.45% y 0.55%, se puede ver que los valores resultantes fueron 3.21%,3.45% y 3.64%, de acuerdo a esto a medida que se adiciona mayor cantidad de PET no se llena los espacios vacíos en la mezcla asfáltica, el tratamiento de la mezcla es un poco compleja por los factores que afectan la buena servicialidad de los pavimentos flexibles entre los cuales están cantidades de vacíos.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

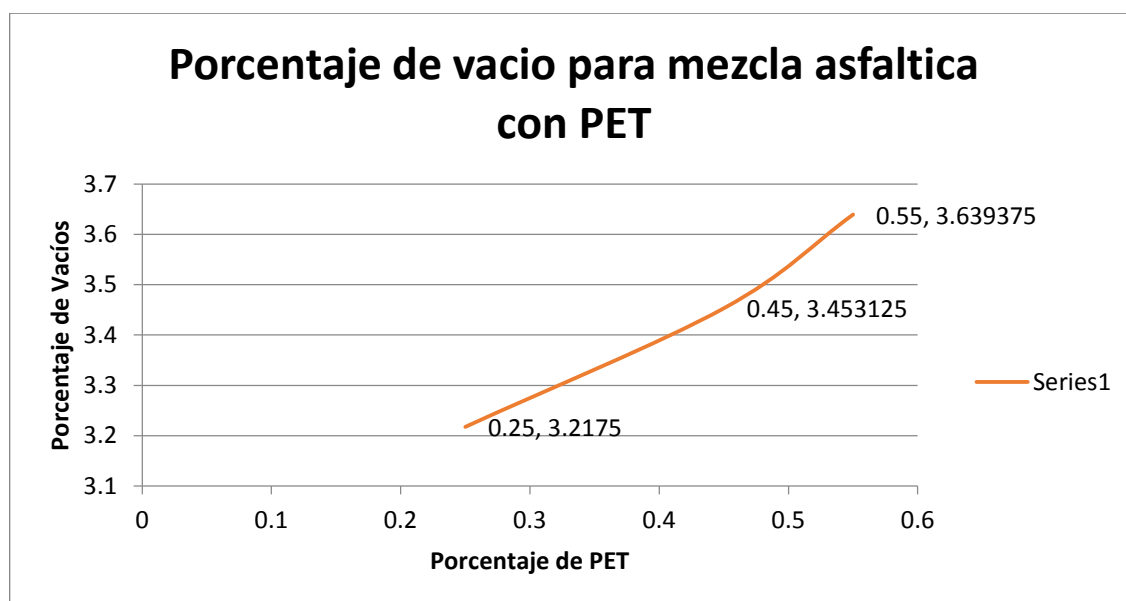


Figura 8: Vacíos para ensayo con PET

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenida la tendencia de los resultados obtenidos en base a los porcentajes de vacíos cuando hay incorporación de PET a 0.25%, 0.45% y 0.55%, lo que ocasiona aumento los vacíos por causa de esta adición, ya que va llenando los vacíos de aire que se forman internamente en la mezcla asfáltica lo cual no pudo ocurrir un buen mezclado por lo que incremento este valor de los vacíos.

Todos los parámetros mencionados de estabilidad, flujo, relación de estabilidad/flujo y % de vacíos se resumen a continuación:

Tabla 15: *Resumen de valores para ensayo con PET*

%PET	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas) (")	% Vacío	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Mínimo 815	Máximo 14	Máximo 4	Máximo 4000
0.25	1093.63	13.075	3.2175	2998.25
0.45	971.25	13.3875	3.453125	2903.625
0.55	955.92	13.5625	3.639375	3192.875

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al incremento del porcentaje de PET de 0.25%, 0.45% y 0.55% disminuye los valores de los parámetros de estabilidad, y en cuanto al parámetro que aumenta el flujo estabilidad/flujo y % vacío es decir que incrementa su flexibilidad del pavimento flexible dando un porcentaje óptimo de PET de 1% y cumple con los parámetros establecidos en el manual de diseño del estado peruano EG-2013 que puede ser aplicada en la pavimentación de las carreteras.

Resultados del trabajo comparativo con la muestra patrón a escala de laboratorio localizado en las siguientes tesis

Tesis 1:

“A nivel nacional

Tabla 16: *Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes a la llenante mineral*

%C asfalto	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	% Vacío
0	Mínimo 815	Máximo 16	Máximo 4
5.5	1674.8	15.12	5
6	1521	15.92	4.2
6.5	1490.5	17.36	3.8
7	1079.2	15.12	3.6

Fuente: Peña, 2019

De acuerdo a las comparaciones de las tesis encontradas tales como:

Estabilidad

4. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 5.7%	
5.5	1674.8
5.7	Y1
6	1521

$$Y1 = 1674.8 + \frac{5.7 - 5.5}{6 - 5.5} * (1521 - 1674.8)$$

$$Y1 = 1613.28$$

5. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 6.2%	
6	1521
6.2	Y2
6.5	1490.5

$$Y2 = 1521 + \frac{6.2 - 6}{6.5 - 6} * (1490.5 - 1521)$$

$$Y2 = 1508.8$$

6. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 6.7%	
6.5	1490.5
6.7	Y3
7	1079.2

$$Y3 = 1490.5 + \frac{6.7 - 6.5}{7 - 6.5} * (1079.2 - 1490.5)$$

$$Y3 = 1325.98$$

Tabla 17: Resumen de estabilidad patrón para ensayos con cenizas

Porcentaje de Asfalto	Estabilidad (kgf)
0	815
5.7	1613.28
6.2	1508.8
6.7	1325.98

Fuente: Elaboración Propia

Se puede ver que a medida que hay variación en la cantidad de asfalto de 5.7%, 6.2%, 6.7% resultando 1613.28 kgf, 1508.8 kgf, 1325.98 kgf, lo que se puede inferir es que disminuyen los valores de estabilidad a medida que se incrementa la cantidad de asfalto. Además, es necesario resaltar que estos valores obtenidos de estabilidad cumplen con el EG 2013, que establecen que mínimo de estabilidad aceptable es de 815 kgf.

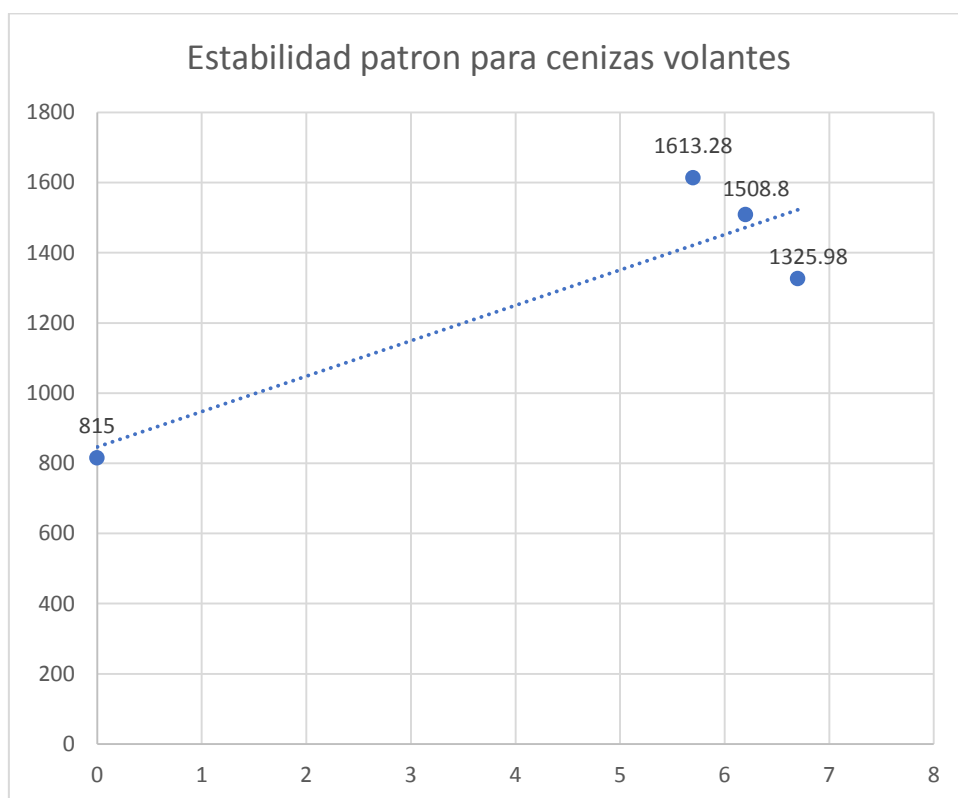


Figura 9: Estabilidad del patrón para ensayos con cenizas volantes

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede visualizar en la figura 10 que el parámetro mínimo establecido es de 815 kgf lo que representa que a medida que se incrementa la cantidad de asfalto aumenta la estabilidad, es decir convierte a la mezcla asfáltica más rígida aumentando su fragilidad y disminuyendo su vida útil.

Flujo

4- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 5.7%	
5.5	14.8
5.7	Y1
6	15.6

$$Y1 = 14.8 + \frac{5.7 - 5.5}{6 - 5.5} * (15.6 - 14.8)$$

$$Y1 = 15.12$$

5- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 6.2%	
6	15.6
6.2	Y2
6.5	16.4

$$Y2 = 15.6 + \frac{6.2 - 6}{6.5 - 6} * (16.4 - 15.6)$$

$$Y2 = 15.92$$

6- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 6.7%	
6.5	16.4
6.7	Y3
7	18.8

$$Y1 = 16.4 + \frac{6.7 - 6.5}{7 - 6.5} * (18.8 - 16.4)$$

$$Y1 = 17.36$$

Tabla 18: Resumen de valores de flujo patrón para ensayo con cenizas

Porcentaje de cantidad de asfalto	Flujo(pulgadas de ("))
0	16
5.7	15.12
6.2	15.92
6.7	17.36

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a los diversos valores obtenidos de PET de 5.7%, 6.2% y 6.7 % se obtuvieron valores de flujo de acuerdo a los porcentajes mencionados de 15.12", 15.92" y 17.36", en base a esto se puede inferir que a medida que se aumenta la dosificación de asfalto, aumenta el flujo es decir su flexibilidad y además cumple con el parámetro de diseño establecido EG 2003 de máximo 16 pulgadas.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

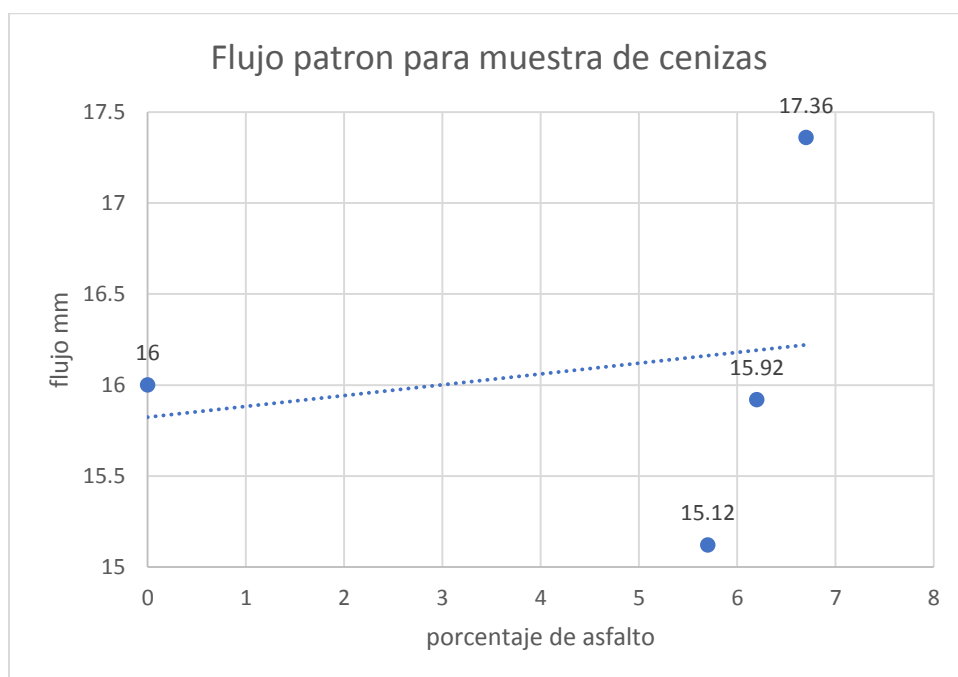


Figura 10: Flujo patrón para ensayo con cenizas

Fuente: Elaboración Propia

Se puede notar que a medida que aumenta la cantidad de asfalto aumenta el flujo es decir que hace más flexible la mezcla asfalta alcanzando un valor máximo de flujo de 17.36 pulgadas para un porcentaje de asfalto de 6.7%.

Relación estabilidad/flujo

Rosales (2019) sobre “Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral.

Tabla 19: *Resultados patrón de estabilidad/flujo*

%C Asfalto	estabilidad/flujo (kgf/cm)
4	3407.84
4.5	3457.38
5	3358.36
5.5	3560.81

Fuente: Rosales, 2019

Se muestran los resultados de estabilidad/flujo a los porcentajes de asfalto estudiados tales como 4%, 4.5%, 5% y 5.5% necesarios para establecer las bases para llevar a cabo las interpolaciones respectivas tal como se muestran a continuación:

1. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas

Para 4.2%	
4	3407.84
4.2	Y1
4.5	3457.38

$$Y1 = 3407.84 + \frac{4.2-4}{4.5-4} * (3457.38 - 3407.84)$$

$$Y1 = 3427.66$$

2. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas

Para 4.7%	
4.5	3457.38
4.7	Y2
5	3358.36

$$Y1 = 3457.38 + \frac{4.7-4.5}{5-4.5} * (3358.36 - 3457.38)$$

$$Y1 = 3417.77$$

3. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas

Para 5.2%	
5	3358.36
5.2	Y3
5.5	3506.81

$$Y3 = 3358.36 + \frac{5.2-5}{5.5-5} * (3506.81 - 3358.36)$$

$$Y3 = 3439.34$$

Tabla 20: Resumen de estabilidad/flujo patrón para ensayos con cenizas volantes

Porcentaje de Asfalto	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	4000
4.2	3427.66
4.7	3417.77
5.2	3439.34

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los datos obtenidos se puede visualizar de que la cantidad de asfalto adicionada de 4.2%, 4.7% y 5.2% causa un aumento considerable en la relación estabilidad flujo, es decir la resistencia a la deformación haciendo que esta sea menos rígida y perdure más en el tiempo y cumple con los parámetros de diseño del manual EG 2003, que indica que el valor máximo permisible es de 4000 kgf/cm, ya que los valores obtenidos están por debajo del estándar.

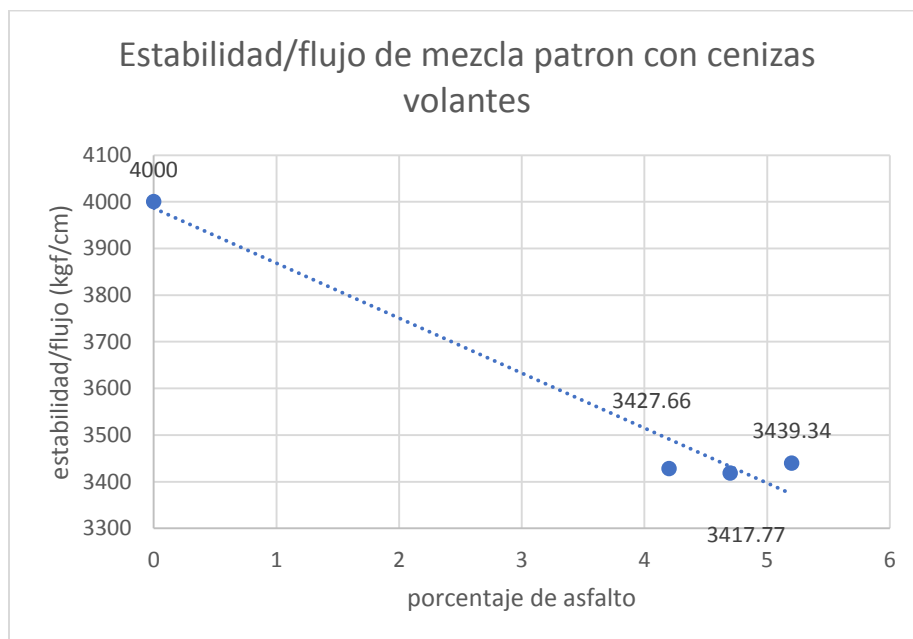


Figura 11: Estabilidad/Flujo patrón para ensayo con cenizas volantes

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se aumenta la cantidad de porcentaje de asfalto de 4.2%, 4.7% y 5.2% disminuye los valores de la relación estabilidad flujo de la mezcla patrón y además es necesario resaltar que se encuentra por debajo del valor máximo permisible para este parámetro siendo 4000 kgf/cm.

Porcentaje de vacíos

7. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 5.7%	
5.5	5
5.7	Y1
6	4.2

$$Y1 = 5 + \frac{5.7 - 5.5}{6 - 5.5} * (4.2 - 5)$$

$$Y1 = 4.68$$

8. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 6.2%	
6	4.2
6.2	Y2
6.5	3.8

$$Y2 = 4.2 + \frac{6.2 - 6}{6.5 - 6} * (3.8 - 4.22)$$

$$Y2 = 4.04$$

9. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con cenizas volantes

Para 6.7%	
6.5	3.8
6.7	Y3
7	3.6

$$Y3 = 3.8 + \frac{6.7 - 6.5}{7 - 6.5} * (3.6 - 3.8)$$

$$Y3 = 3.72$$

Tabla 21: Resumen de porcentaje de vacíos patrón para ensayo con cenizas volantes

Porcentaje de asfalto	Vacíos (%)
0	4

5.7	4.68
6.2	4.04
6.7	3.72

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede en la tabla 19 a medida que se aumentan los porcentajes de asfalto los cuales van de 5.7%, 6.2% y 6.7% se van disminuyendo los porcentajes de vacíos de 4.68%, 4.04% y 3.72%, lo que quiere decir que cuando es incorporado asfalto se va reduciendo los vacíos, así se va disminuyendo las fisuras que se puede causar.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

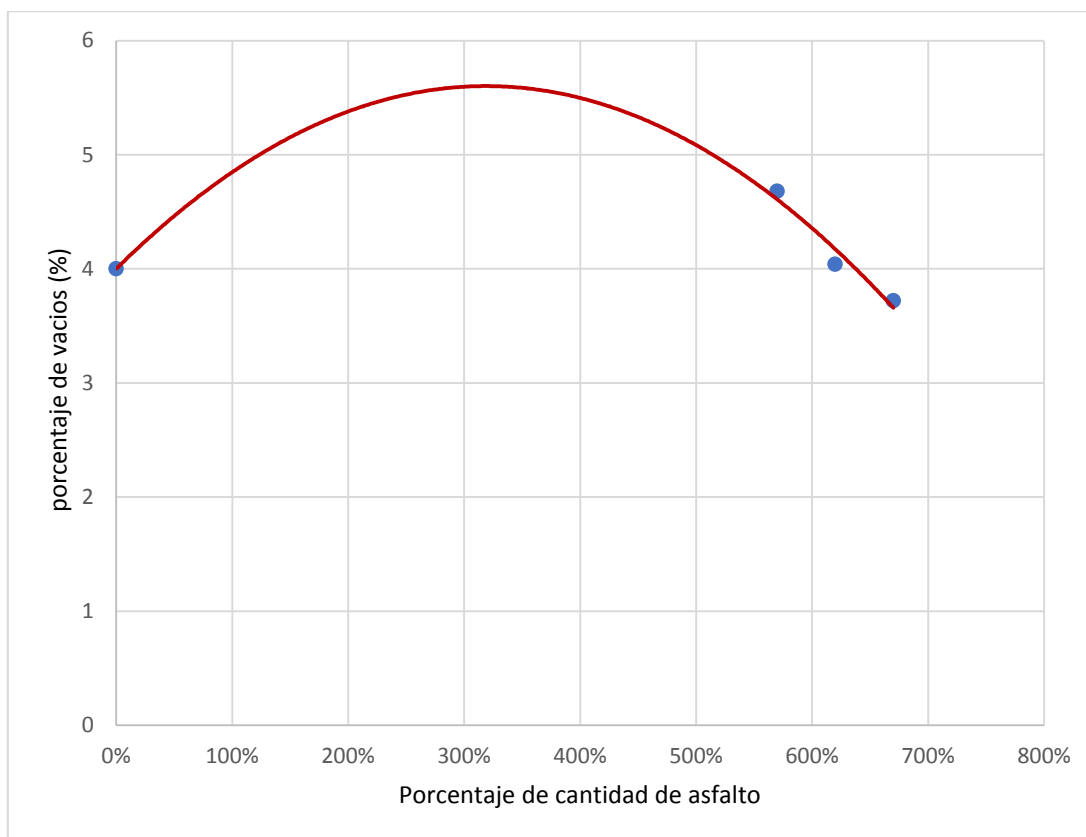


Figura 12: Vacíos patrón para ensayo con cenizas volantes

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se muestra en la figura 12 a medida que aumenta el porcentaje de asfalto de 5.7%, 6.2% y 6.7%, se evidenciaron resultados de disminución de los porcentajes de vacíos que permiten determinar la carga a soportar cuando es sometida a tráfico y evitar el ahuellamiento que suceden por gran cantidad de vacíos en la mezcla asfáltica.

Tabla 22: Resumen de valores del Ensayo Patrón para ensayo con cenizas volantes

%C asfalto	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	% Vacío	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Mínimo 815	Máximo 14	Máximo 4	Máximo 4000
5.7	1613.18	15.12	4.68	3427.65
6.2	1508.8	15.92	4.04	3417.77
6.7	1325.98	17.36	3.72	3439.34

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede visualizar en la tabla 22 a medida que aumenta el porcentaje de asfalto aumentan los valores de los parámetros de estabilidad, flujo, y los parámetros que disminuyen están la estabilidad/flujo y el % de vacíos y cumple con los parámetros máximo establecido en el manual de diseño asfáltico EG 2003 y el resultado óptimo se obtiene con un 5.0% de asfalto logrado mejores resultados.

Tesis 2.

Corbacho (2019) titulada “Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de tereftalato de polietileno reciclado en la ciudad del Cusco-2018”

Tabla 23: Resumen de parámetros Marshall para establecer patrón de ensayo con PET

%C Asfalto	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	estabilidad/flujo (kgf/cm)	% Vacío
5.5	890	12.1	2380	3.9
6	930	13.5	2752	3.5
6.5	950	14.5	2557	2.7
7	942	16	2329	1.8

Fuente: Corbacho, 2019

De acuerdo a la tabla 23 se muestra cada a uno de los parámetros obtenidos por medio del ensayo Marshall tales como estabilidad, flujo, relación estabilidad versus flujo y % de vacío, necesarios para establecer la mezcla patrón para posteriormente estudiarla con adición de PET.

Estabilidad

7. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 5.7 %	
5.5	890
5.7	Y1
6	930

$$Y1 = 890 + \frac{5.7 - 5.5}{6 - 5.5} * (930 - 890)$$

$$Y1 = 906$$

8. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 6.2 %	
6	930
6.2	Y1
6.5	950

$$Y1 = 930 + \frac{6.2 - 6}{6.5 - 6} * (950 - 930)$$

$$Y1 = 938$$

9. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 6.7 %	
6.5	950
6.7	Y1
7	942

$$Y1 = 950 + \frac{6.8 - 6.5}{7 - 6.5} * (942 - 950)$$

$$Y1 = 946.8$$

Tabla 24: Resumen de estabilidad patrón para ensayo con PET

Porcentaje de asfalto	Estabilidad (kgf)
0	815
5.7	906
6.2	938
6.7	946.8

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos a los porcentajes de asfalto de 5.7%, 6.2%, 6.7% dando los siguientes resultados de estabilidad 906 kgf, 938 kgf y por último fue 946.8 kgf, lo que quiere decir que a medida que aumente la cantidad de asfalto lo que hace que el pavimento sea más rígido y pueda sufrir deterioro prematuro.

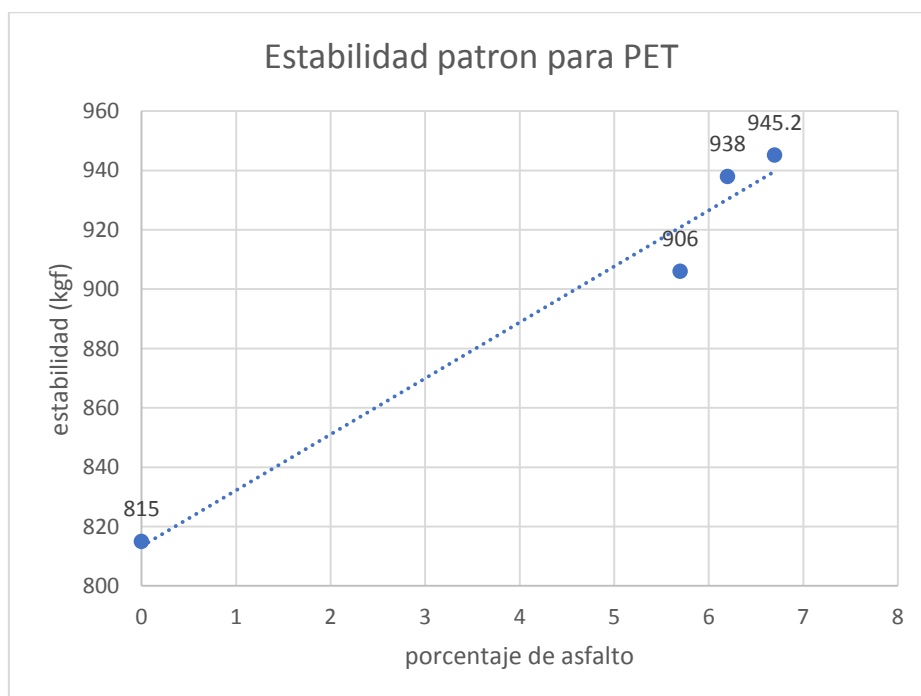


Figura 13: Estabilidad del patrón para ensayos con PET

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los parámetros mostrados como la estabilidad aumenta a medida que aumenta la cantidad de asfalto hasta 6.7% con una estabilidad de 945.2 kgf, lo

que quiere decir que este punto se alcanza mayor rigidez y menor capacidad de soportar carga sin sufrir deformaciones.

Flujo

10. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para.5.7 %	
12.1	12.1
Y1	Y1
13.5	13.5

$$Y1 = 12.1 + \frac{5.7 - 5.5}{6 - 5.5} * (13.5 - 12.1)$$

$$Y1 = 12.66$$

11. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para.6.2 %	
6	6
6.2	6.2
6.5	6.5

$$Y2 = 13.5 + \frac{6.2 - 6.5}{6.5 - 6} * (14.5 - 13.5)$$

$$Y2 = 13.9$$

12. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para.6.8 %	
6.5	14.5
6.7	Y3
7	16

$$Y3 = 14.5 + \frac{6.7 - 6.5}{7 - 6.5} * (16 - 14.5)$$

$$Y3 = 14.1$$

Tabla 25: Resumen de valores de flujo patrón para ensayo con PET

Porcentaje de asfalto	Flujo (pulgadas)
0	14
5.7	12.66
6.2	13.9
6.7	14.1

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo planteado en la tabla 25 los valores de cada porcentaje de asfalto de 5.7%, 6.2% y 6.7%, obteniendo valores de flujo de 12.66 pulgadas, 13.9 pulgadas y 14.1 pulgadas, en base a los datos obtenidos hay un aumento a medida que aumenta el porcentaje de asfalto aumenta el flujo, lo que la convierte en más flexible a soportar carga sin sufrir deformaciones.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente gráfica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

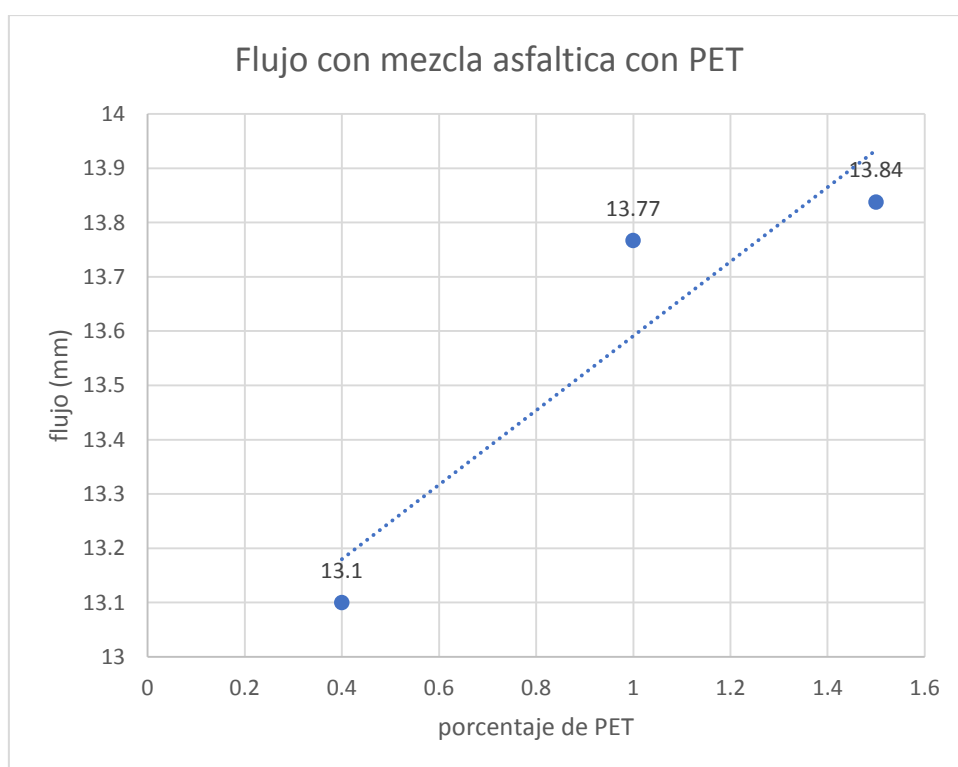


Figura 14: Flujo patrón para ensayo con PET

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede visualizar en la figura 14 la tendencia fue que cuando se aumenta el porcentaje asfalto aumenta el flujo hasta 13.84 pulgas, lo que quiere decir que la vuelve más flexible y aumentando de manera indirecta la durabilidad de la mezcla asfáltica.

Relación estabilidad/flujo

1. Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 5.7%	
5.5	2380
5.7	Y1
6	2752

$$Y1 = 2380 + \frac{5.7-5.5}{6-5.5} * (2752-2380)$$

$$Y1 = 2528.8$$

2. Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 6.2%	
6	2752
6.2	Y2
6.5	2557

$$Y2 = 2752 + \frac{6.2-6}{6.5-6} * (2557-2752)$$

$$Y2 = 2674$$

3. Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 6.7%	
6.5	2557
6.7	Y3
7	2329

$$Y3 = 2557 + \frac{6.7-6.5}{7-6.5} * (2329-2557)$$

$$Y3 = 2465.8$$

Tabla 26: Resumen de estabilidad/flujo patrón para ensayos con PET

Porcentaje de Asfalto	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	4000
5.7	2528.8
6.2	2674
6.7	2465.8

Fuente: Elaboración Propia

Cuando se presenta un aumento de la cantidad de asfalto de 5.7%, 6.2%, 6.7% logrando resultados de estabilidad versus flujo en 2528.8 kg/cm, 2674 kgf/cm y por último 2465.8 kgf/cm, todos los porcentajes cumplen con lo establecido en el manual de carreteras EG 2003.

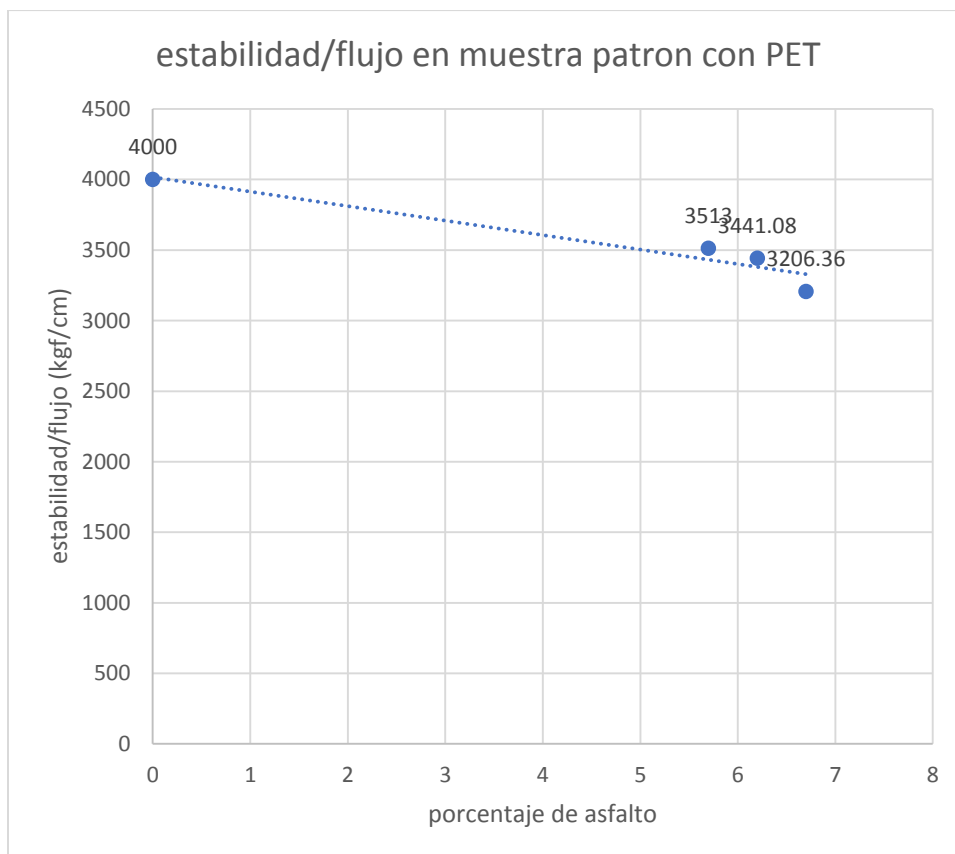


Figura 15: Estabilidad/Flujo del patrón para ensayo con PET

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede visualizar en la figura 15 todos los porcentajes se encuentra dentro del valor establecido de 4000 kgf/cm y si cumplen y además disminuyen de acuerdo al aumento de la cantidad de asfalto disminuyendo su rigidez y su resistencia al corte por deformación.

Porcentaje de vacíos

7- Se tiene el cálculo de Y1 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 5.7%	
5.5	3.9
5.7	Y1
6	3.5

$$Y1 = 3.9 + \frac{5.7 - 5.5}{6 - 5.5} * (3.5 - 3.9)$$

$$Y1 = 3.74$$

8- Se tiene el cálculo de Y2 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos con PET

Para 6.2%	
6	3.5
6.2	Y1
6.5	2.7

$$Y1 = 3.5 + \frac{6.2 - 6}{6.5 - 6} * (2.7 - 3.5)$$

$$Y1 = 3.18$$

9- Se tiene el cálculo de Y3 por medio de la interpolación de tipo lineal para la muestra patrón para ser empleado en los ensayos sin PET

Para 6.7%	
6.5	2.7
6.7	Y1
7	1.8

$$Y1 = 2.7 + \frac{6.7 - 6.5}{7 - 6.5} * (1.8 - 2.7)$$

$$Y1 = 2.34$$

Tabla 27: Resumen de porcentaje de vacíos patrón para ensayo sin PET

Porcentaje de cantidad de asfalto	Vacíos (%)
0	5
5.7	3.74
6.2	3.18
6.7	2.34

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo mencionado en la tabla 27 a medida que aumenta los porcentajes de asfalto el cual va 5.7%, 6.2%, 6.7% con disminución de valores de vacío

3.74%, 3.18%, y 2.34%, de acuerdo a esto se puede inferir de que el asfalto llena los espacios vacíos de la mezcla asfáltica.

De acuerdo a la interpolación se realiza la siguiente grafica de acuerdo a los valores bases de la tesis y los obtenidos por la interpolación.

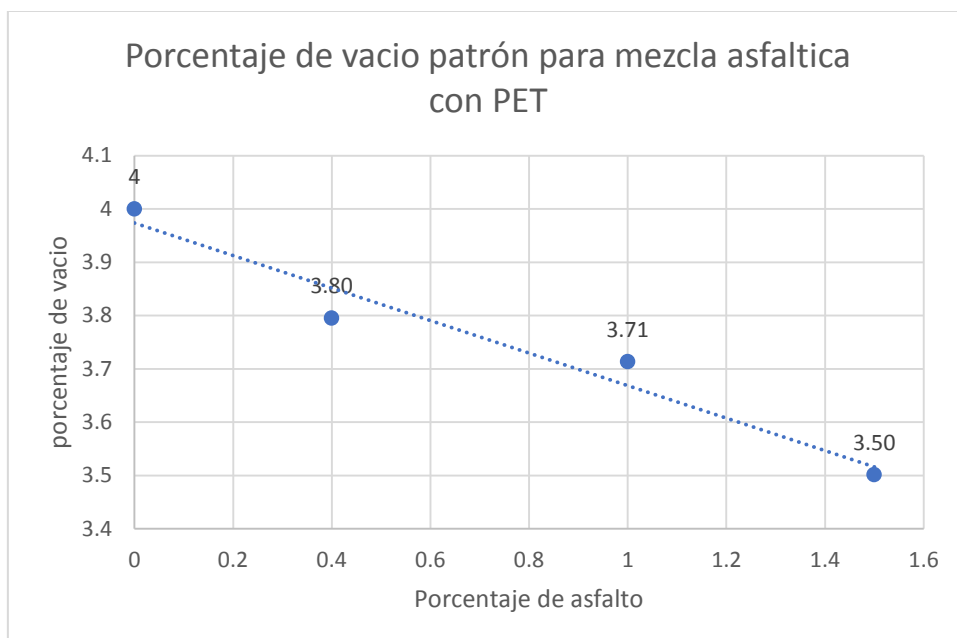


Figura 16: Vacíos patrón para ensayo sin PET

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede observar en la figura 16 los vacíos disminuyen con el aumento del asfalto hasta 3.50%, ya que esta adición logra que se introduzca en los espacios vacíos y se mas durable la mezcla asfáltica.

Con base a todo lo planteado se resumen los parámetros estudiados en la siguiente tabla:

Tabla 28: Resumen de valores para ensayo sin PET

%PET	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	% Vacío	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Mínimo 815	Máximo 15	Máximo 5	Máximo 4000
5.7	906	12.66	3.74	2528.8
6.2	938	13.9	3.18	2674
6.7	946.8	14	2.34	2465.8

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se puede visualizar en la tabla 28 a medida que aumenta el porcentaje de asfalto aumentan los valores de los parámetros de estabilidad, flujo, y los parámetros que disminuyen están la estabilidad/flujo y el % de vacíos y cumple

con los parámetros máximo establecido en el manual de diseño asfáltico EG 2003, logrando mejores resultados a un porcentaje óptimo de 6.15%.

En resumen, se puede mencionar la mezcla patrón y la modificada con PET o cenizas volantes tal como se muestra a continuación:

Tabla 29: *Resumen global para mezcla asfáltica con PET*

Mezcla asfáltica 60/70 Patrón				
%C asfalto	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	% Vacío	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Mínimo 815	Máximo 15	Máximo 5	Máximo 4000
5.7	906	12.66	3.74	2528.8
6.15	938	13.80	3.05	2693.5
6.2	938	13.9	3.18	2674
6.7	946.8	14	2.34	2465.8
Mezcla asfáltica 60/70 con PET				
%PET	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	% Vacío	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Mínimo 815	Máximo 15	Máximo 5	Máximo 4000
0.25	1093.63	13.08	3.22	2998.25
0.45	971.25	13.39	3.45	2903.625
0.55	955.92	13.56	3.64	3192.875

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la comparación entre la mezcla patrón y con adición de PET, se logró evidenciar que con PET hay una disminución de la estabilidad y aumento del % de vacíos, lo que pudo incidir que hubo una mala manipulación de la muestra en su preparación mejoró los valores de los parámetros del flujo, la, estabilidad/flujo su flexibilidad con respecto a la mezcla patrón sin PET con una proporción baja de PET con un valor óptimo de 0.55%, lo quiere decir que es una opción factible

técnica, económica y reducir impacto ambiental e incluso sirve para disminuir las propiedades de envejecimiento.

Tabla 30: *Resumen global para mezcla asfáltica con cenizas volantes*

Mezcla asfáltica patrón					
%C asfalto	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	% Vacío	%C asfalto	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Mínimo 815	Máximo 16	Máximo 5	0	Máximo 4000
5.7	1613.28	15.12	4.68	4.2	3427.656
6.2	1508.8	15.92	4.04	4.7	3417.772
6.7	1325.98	17.36	3.72	5.2	3439.34
Mezcla asfáltica con cenizas volantes					
%Cenizas volantes	Estabilidad (Kgf)	Flujo (pulgadas)	Estabilidad/flujo (kgf/cm)	%Cenizas de caña de maíz	% Vacío
0	Mínimo 815	16 Máximo	Máximo 4000	0	Máximo 5
0.6	1509.5	17.44	3481.40	0.4	3.91
0.78	1515.96	17.60	3809.60	2.5	3.6
0.92	1528.70	15.98	3826.4	3.5	3.3

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a la comparación entre la mezcla patrón y con adición de cenizas volantes, se logró evidenciar que con esta adición se mejoró los valores de los parámetros de la estabilidad, %vacío disminuyendo los mismo y aumento el flujo su flexibilidad, estabilidad/flujo con respecto a la mezcla patrón sin cenizas volantes con una pequeña cantidad del mismo para valor óptimo de 0.4%, lo quiere decir que es una opción factible técnica, económica y reducir impacto ambiental e incluso sirve para disminuir las propiedades de envejecimiento.

V. DISCUSIONES

5.1. Influencia de las cenizas volantes en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

RESULTADO 1.- Al incluir un porcentaje óptimo de 0.78% de ceniza volante, por medio del ensayo Marshall aumenta la relación estabilidad vs flujo convencional de 3439.34 kgf/cm (85.98%) al modificado 3809.60 kgf/cm (95.24%) con un incremento de 370.26 kgf/cm (9.26%) lo cual disminuyó de manera indirectamente el envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica. **Antecedente**, Suriano (2018) En su investigación demostró que la adición de ceniza volante hasta un 1.5% en la mezcla asfáltica en caliente mejora el comportamiento estabilidad vs Flujo en relación a la mezcla patrón en un 60,4%. Los resultados son más estables y se encuentran dentro del parámetro exigido por las especificaciones AASHTO (1,700 – 4,000 kg/cm) ya que fueron (1800 – 3700) kg/cm, el cual aporta un comportamiento adecuado de la mezcla asfáltica. En la tesis que se desarrolla (en base a resultados del tesista) se obtuvieron resultados similares al mejorarse los parámetros de la relación estabilidad vs flujo

Hipótesis: La dosificación de ceniza volante aumentó la relación estabilidad vs flujo del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica en San Martín de Porres, Lima, 2019. Por medio de ensayo Marshall se acepta la influencia que tuvo la dosificación de cenizas volantes en la mezcla asfáltica, ya que aumento la resistencia a la deformación con la relación estabilidad/flujo (Rigidez) y también aumento de manera consecutiva la estabilidad y el flujo.

Pregunta: ¿Cuánto influye la dosificación de la ceniza volante en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?

Una vez comenzado el estudio (En base a los resultados del Tesista), la mezcla asfáltica clasificando un tránsito medio con un rango de 1700 kgf/cm a 4000 kgf/cm en la relación estabilidad vs flujo y con la incorporación de cenizas volantes de 0.6%, 0.78% y 0.92%, donde resulto mejor aumento de relación estabilidad/flujo de 3809.60 kgf/cm(95.24%) con un incremento de 370.26 kgf/cm(9.26%), además la mezcla asfáltica patrón convencional presentaba una relación estabilidad/flujo 3439.34 kgf/cm(85.98%), pero al incrementar 0.6% dio 3481.40 kgf/cm, 0.78% dio 3809.60 kgf/cm y 0.92% 3826.4 kgf/cm, con un porcentaje óptimo de 0.78% mejor, aumento la relación estabilidad/flujo de 3809.60 kgf/cm(95.24%).

5.2 Influencia del plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

RESULTADO 2.- Al incluir un porcentaje óptimo de 0.55% de PET, aumento la relación estabilidad vs flujo aún 3192.875 kgf/cm del ensayo Marshall y se disminuyó indirectamente el envejecimiento de la mezcla asfáltica. Antecedente, Silvestre (2017) en su investigación agrego 1% de Plástico PET molido directamente a la mezcla asfáltica, obteniendo resultados favorables en lo que respecta a estabilidad y flujo de la mezcla. Con el plástico PET en la tesis que se está desarrollando se obtuvieron resultados similares al aumentar los valores de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica.

Hipótesis: La dosificación de plástico PET aumentara la relación estabilidad vs flujo del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

Por medio de los cálculos de las interpolaciones y comparaciones con investigaciones anteriores se afirma la influencia que tuvo las dosificaciones de plástico PET en la mezcla patrón original, ya que aumentó la estabilidad y el flujo al agregarse distintos porcentajes de PET. Mejorando de esta forma la relación estabilidad vs flujo incrementando en 499.38 kg/cm (12.49%).

Pregunta: ¿Cuánto incide la dosificación de plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?

Una vez comenzado el estudio (En base a los resultados del Tesista), la mezcla asfáltica clasificando un tránsito medio con un rango de 1700 kgf/cm a 4000 kgf/cm en la relación estabilidad vs flujo y con la incorporación de PET de 0.25%, 0.45% y 0.55%, donde resulto mejor aumento de relación estabilidad/flujo de 3192.88 kgf/cm(79.82%) con un incremento de 499.38 kg/cm (12.49%), además la mezcla asfáltica patrón convencional presentaba una relación estabilidad/flujo 2693.5 kgf/cm(67.34%), pero al incrementar 0.25%, 0.45% y 0.55%, con un porcentaje óptimo de 0.55% aumentó la relación estabilidad/flujo de 3192.88 kgf/cm(79.82%).

5.3 Influencia de las cenizas volantes y el pastico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.

RESULTADO 3.- Al incluir cenizas volantes obtuvimos los resultados del porcentajes de vacíos, en la cual aplicando el óptimo contenido de cemento asfaltico de 6.7% nos resultó un 3.72%, cuando aplicamos el óptimo contenido de

cenizas de 2.5% nos resultó un 3.6 % de vacíos disminuyendo un 0.12% de la mezcla patrón

Y en cuanto al porcentaje de vacíos de PET, en la cual aplicando el óptimo contenido de cemento asfáltico de 6.15% nos resultó un 3.05% y cuando aplicamos el óptimo contenido de PET de 0.55% nos resultó un 3.64% aumentando un 0.60% de la mezcla patrón.

Antecedente, cada uno en una tesis particular por separado ya que no existen investigaciones donde se agreguen los dos compuestos para hacer comparaciones, de esta manera se obtuvieron variaciones con respecto a la mezcla asfáltica patrón. Suriano (2018) Al agregar ceniza volante en un 3% se observó una variación del 2,47% en el porcentaje de vacío de la mezcla. Obteniéndose mejoras significativas en los porcentajes de vacío, por medio de los cálculos de las interpolaciones y Silvestre (2017) agregó Plástico PET a la mezcla asfáltica. comparaciones con investigaciones anteriores se afirma la influencia que tuvo las dosificaciones de plástico PET de 1% en la mezcla patrón original, ya que disminuyó el porcentaje de vacío al agregarse distintos porcentajes de PET. Mejorando de esta forma con respecto a la mezcla patrón. Los resultados fueron parecidas en las mismas proporciones en la tesis que se estudia al disminuirse los porcentajes de vacío de 4,3% a 4,1% (0.2%).

Hipótesis: La dosificación de la ceniza volante y el plástico PET disminuirá los porcentajes de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica. Por medio de los cálculos de interpolaciones y comparación con otras tesis se afirma la influencia que tuvo las dosificaciones de cenizas volante y plástico PET en la mezcla asfáltica, ya que por medio de ensayo Marshall disminuyó el contenido de porcentaje de vacíos a 0.22% en cuanto a las cenizas volantes, con respecto al PET el porcentaje de vacíos incremento un 0.59%.

Pregunta: ¿Cuánto influye la dosificación de la ceniza volante y el plástico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?

Una vez comenzado el estudio (En base a los resultados del Tesista), la mezcla asfáltica clasificando un tránsito medio con un rango de 2% a 5% en la relación porcentaje de vacíos estándar de acuerdo al manual de construcciones del pavimento del Perú y con la incorporación de cenizas volantes de 0.6%, 0.78% y 0.92% y para las cenizas volantes una disminución de 0.12%, donde la mezcla

convencional el porcentaje de vacíos fue 3.72% y en el modificado 3.6% con un porcentaje óptimo de 0.78% mejorando los porcentajes de vacíos a 3.6% que representa una disminución de 0,12% de vacíos al incorporarse las cenizas volantes y en cambio para la incorporación de PET de 0.25%, 0.45% y 0.55%, donde resultó con un incremento de 0.59% en los porcentaje de vacíos de 3.05%el tradicional a 3.64% el modificado con un porcentaje óptimo de PET de 0,55%, desmejorando la mezcla asfáltica para adición de PET con un aumento de vacío en 0.59%.

Consideraciones: no coincide la hipótesis de los estudios encontrados, se lograron los valores de los porcentajes de vacíos a través de un estudio donde se logró evidenciar variaciones en estos valores lo cual pudo haber sido por mala manipulación y preparación de la mezcla que no se mezclaron bien con el PET y aumento el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos se requiere mejorar una mezcla asfáltica con cenizas volantes y PET, por lo que se obtuvieron las siguientes conclusiones: Evaluar como las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible mejora con la incorporación de cenizas volantes y plástico PET.

Objetivo General, Se evaluó que, las propiedades de envejecimiento del pavimento flexible con cenizas volante y PET, mejoran las características del pavimento flexible encontrado en San Martin de Porres (SMP) 2019, observando su evaluación en sus propiedades mecánicas: 1) al aumentar la relación Estabilidad vs Flujo (Rigidez) con adición de cenizas volantes a la mezcla asfáltica 2) al aumentar la relación estabilidad vs flujo al incorporar PET a la mezcla asfáltica 3) al disminuir el porcentaje de vacío en la mezcla asfáltica con cenizas volantes e incluso un aumento pequeño en el porcentaje de vacíos con PET.

Relación estabilidad versus flujo (REF)

Mezcla asfáltica patrón para cenizas volantes (CV) REF= 1700-4000 kgf/cm, REF=3481.40kgf/cm, 0.6% CV, REF=3809.60 kgf/cm, 0.78%CV, REF=3826.4kgf/cm, 0.92%CV.

Objetivo Específico 1, Se evaluó cómo influye la dosificación de las cenizas volantes en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica, ya que influyeron en el aumento de la relación estabilidad vs flujo en un 95.24% al emplearse un 0.78% de ceniza volante; entonces la influencia está directamente relacionada con los porcentajes usados incrementa en menor proporción respecto al patrón, por lo que la influencia de mejora con respecto al uso de los porcentajes de ceniza volante, lo cual queda comprobada.

Relación estabilidad versus flujo (REF)

Mezcla asfáltica patrón con PET (PET) = 1700-4000 kgf/cm, REF= 2998.25 kgf/cm, 0.25% PET, REF=2903.63 kgf/cm, 0.45%PET, REF=3192.88 kgf/cm, 0.55 %PET.

Objetivo Específico 2, se evaluó cómo influye la dosificación de plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica, ya que influye en la relación estabilidad vs Flujo de la mezcla asfáltica al aumentarlo en un 79.82% más de la mezcla patrón, al emplearse un óptimo de 0.55% de plástico PET; entonces el mejoramiento de la Mezcla asfáltica está directamente

relacionada con los porcentajes planteados en el estudio, por lo que el mejoramiento es positivo con respecto a la relación Estabilidad vs Flujo de la mezcla asfáltica incrementa más que con respecto al patrón, el cual queda comprobada.

Porcentaje de vacíos (%V)

Mezcla asfáltica patrón para PET (PET) %V =2%-5%, %V=3.22, 0.25% PET, %V= 3.45, 0.45%PET %V= 3.64, 0.55%PET.

Porcentaje de vacíos (%V)

Mezcla asfáltica patrón para cenizas volantes (CV) %V =2%-5%, %V=3.91, 0.4% CA, %V= 3.6, 2.5%CA, %V=3.3, 3.5%CV.

Objetivo Específico 3, Se evaluó la influencia de la dosificación de las cenizas volantes y el pastico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica. Para los porcentajes de vacío, influyó en la disminución de hasta 0,12 % (0.,78% de ceniza volante) de disminución con la ceniza volante y incremento un 0.59% (con 0.55% de PET) con el plástico PET; entonces la variación (disminución) de los porcentajes de vacío está directamente relacionada con los porcentajes planteados para cenizas volantes y en cambio con PET aumento con la dosificación y así poder garantizar en el tiempo una mejor calidad de esta propiedad, por lo que la dependencia positiva con respecto a la proporción optima de la ceniza volante queda comprobada y también la dependencia negativa del plástico PET.

VII. RECOMENDACIONES

Relación estabilidad versus flujo (REF)

Mezcla asfáltica patrón para cenizas volantes (CV) REF= 1700-4000 kgf/cm, REF=3481.40kgf/cm, 0.6% CV, REF=3809.60kgf/cm, 0.78%CV, REF=3826.4kgf/cm, 0.92%CV.

Objetivo Específico 1, En la presente investigación al elegirse porcentajes de ceniza volante que iban desde un 0.6% hasta un 0.92%, en todas ellas se logró el aumento de la relación Estabilidad vs Flujo; para continuar la Investigación recomendamos utilizar más porcentajes por encima de 0.92% para fijarse hasta donde sube la curva y luego disminuye e incrementar también los ensayos tales como TSR (Resistencia a la Tracción Indirecta) para poder profundizar en las propiedades de envejecimiento, según estudios mejoran las propiedades de la mezcla asfáltica para así tener en el país una mezcla asfáltica de óptima y que se adapte 100% a las características de tráfico y clima de cada región.

Relación estabilidad versus flujo (REF)

Mezcla asfáltica patrón con PET (PET)=1700-4000 kgf/cm, REF= 2998.25 kgf/cm, 0.25% PET, REF=2903.63 kgf/cm, 0.45%PET, Óptimo =REF=3192.88 kgf/cm, 0.55 %PET.

Objetivo Específico 2, En la presente investigación al elegirse porcentajes del plástico PET, que iban del 0.25% al 0.55% se obtuvo el incremento de la relación Estabilidad vs Flujo comparados con la mezcla patrón; por lo que, se recomienda seguir ensayando con el plástico PET ya que trae muchos beneficios a la mezcla. Se recomienda emplear el plástico PET hasta un 0.55% cumpliendo las especificaciones técnicas que es el óptimo calculado e incluso hacer más estudios sobre el diseño granulométrico y aumentar la cantidad de ensayos como TSR, Rueda de Hamburgo que permiten medir otras propiedades del envejecimiento de mezclas asfálticas para así determinar la influencia de la incorporación de Tereftalato de Polietileno frente a estos ensayos y obtener una mejora en la mezcla asfáltica con una mejor relación estabilidad vs flujo (Rigidez).

Porcentaje de vacíos (%V)

Mezcla asfáltica patrón para PET (PET) %V = 2%-5%, %V=3.22, 0.25% PET, %V= 3.45, 0.45%PET %V= 3.64, 0.55%PET.

Porcentaje de vacíos (%V)

Mezcla asfáltica patrón para cenizas volantes (CV) %V = 2%-5%, %V=3.91, 0.4% CA, %V= 3.6, 2.5%CA, %V=3.3, 3.5%CV.

Objetivo Específico 3, En la presente investigación al elegirse porcentajes de ceniza volante que iban desde un 0.6% hasta un 0.92% y de plástico PET que iban desde 0.25% a 0.55%, en todas ellas se logró la disminución del % de vacíos con cenizas volantes, en cambio con PET aumento el % de vacíos; para continuar la Investigación recomendamos disminuir el porcentaje de PET usado y también se recomienda usar otros porcentajes no usados como 0.1% ó 0.4%, ya que está demostrado que el PET mejora las características de la mezcla al mejorar los porcentajes por eso se recomienda seguir investigando con estos nuevos porcentajes. Con respecto al tamiz, se recomienda pasar por un tamiz N° 40, esto hará que se llenen los vacíos de forma más eficiente. Se recomienda un cuidado especial al adicionarle PET a la mezcla, hay que realizarle un buen tratamiento para que se adhiera mejor y así buscar disminuir los porcentajes de vacío en cantidades mayores que 0.2%. Con respecto a ceniza volante, se recomienda usar otros porcentajes de ceniza como por ejemplo 3% y hacer pasar por un tamiz N° 200. Y por último, se recomienda aumentar la cantidad de ensayos de vacío, como el VMA por ejemplo, que permite medir con más exactitud los vacíos que se producen en la mezcla asfáltica.

REFERENCIAS

1. POERAN, Natascha & SLUERGG, Berwich. Workability of asphalt mixtures. E&E Congress 2016 | 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress. Prague, Czech Republic 1-3 June 2016.. <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=918>
2. ORTEGA, Osvaldo & Paternina, Luis. Propuesta Para Implementar Mezclas Asfálticas Tibias. Investigación.Trabajo de Especialización en Transporte, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia, 2012. <https://core.ac.uk/download/pdf/51194688.pdf>
3. LECCA, Johan. Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral. Tesis de ingeniería, Universidad San Pedro, Chimbote, Perú, 2019. <http://repositorio.usp.edu.pe>
4. Dirección web de Av Los Alisos cruce don Canta Callao. Lima. Disponible en <https://www.google.com/maps/search/direccion+web+los+alisos+cruce+con+canta+callao/@-11.9815163,-77.0994497,17z/data=!3m1!4b1>
5. MENARIA, Yash & SANKHLA Rupal. Use of Waste Plastic for doing a Flexible Pavements. Open Journal, Vol (5), N° (2): 2015. https://file.scirp.org/pdf/OJCE_2015090913503150.pdf
6. NORMA DE MINISTERIO TRANSPORTE Y COMUNICACIONES (MTC) 2016. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf
7. CORBACHO, Jorge. Análisis de la Estabilidad Marshall, Ciudad del Cusco- 2018. Tesis de ingeniería, Universidad nacional de San Antonio Abad, Cusco, Perú, 2019. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/3571>
8. ROSALES, Joan. Resistencia a la deformación de una mezcla asfáltica en caliente con adición de un 10% por cenizas de carbón mineral. Tesis de ingeniería, Universidad San Pedro, Chimbote, Perú, 2019. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/10403>
9. SILVESTRE, Deyvis. Comparación de las mezclas asfálticas con plástico reciclado, Lima-2017. Tesis de ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú., 2017. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1506/Silvestre_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

10. PEÑA, Rosario. Desempeño mecánico de la mezcla asfáltica en caliente incorporando cenizas volantes provenientes de la termoeléctrica de Ilo. Tesis de ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima. Perú, 2019. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2490/VIALT030_46541543M%20%20%20PE%C3%91A%20ANCCASI%20JUAN%20CARLOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
11. ADAUTO, Rosario. Comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica en caliente con adición de ceniza de caña de maíz. Tesis de ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima. Perú, 2019. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2505>
12. SURIANO, Ingrid. Mezcla asfáltica en caliente por método Marshall, adicionando cenizas volantes. Tesis de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/8598/>
13. MAGDI, Zumrawui y FAIZA, Khalilli . Experimental Study of Steel Slag Used as Aggregate in Asphalt Mixture. Artículo científico publicado en *American Journal of Construction and Building Materials*. www.sciencepublishinggroup.com
14. MIRKOVIC, Katarina, TOSIC, Nikola, & MLADENOVIC, Goran. Effect of Different Types of Fly Ash. *Advances in Civil Engineering*. Article ID 8107264, 2019. <http://downloads.hindawi.com/journals/ace/2019/8107264.pdf>
15. XU, Liu., WANQIU, Liu., SHUYIN, Wang. & ZHEREN, Wang. Performance Evaluation of Asphalt Mixture with Nanosized Volcanic Ash Filler. *American Society of Civil Engineers*, 2018. <http://dx.doi.org/10.1061/JPEODX.0000060>
16. PUELLO, Juliana, AFANASJEVA, Natalia, & ÁLVAREZ, Mario. Correlaciones estadísticas hechas para la estimación de las propiedades reológicas. *Revista ION*. Vol (26), N° (1): 2015. <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342030287008.pdf>
17. GARCÍA, Álvaro. Análisis del Ciclo de Vida de Mezclas bituminosas semicalientes con árido reciclado. Tesis de ingeniería, Universidad de Cantabria, 2015. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/5617/Garc%c3%ad a%20Casero%20Andres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

18. RODRÍGUEZ, Daniela, RODRÍGUEZ Cristian, RAMÍREZ, Cindy & FLÓREZ, Cristian, Evaluación de lo que es el envejecimiento en el cemento asfáltico 80-100 cuando se modifica con lignina. Revista Ingeniare N°. 20, pp. 47-61, 2016. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/408>
19. YANGALI, Geofrey. Influencia al Usar la Carpeta de asfalto. Tesis de ingeniería. Universidad nacional Centro del Perú, Huancayo. Perú, 2015. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/406>
20. ROCIO, Yvette & MURRAY, Dávalos. Obtención de Mezclas Asfálticas Mediante la Adición de Material Reciclado: Poliestireno Expandido. Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. 2015. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1910/Mtdamuyr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
21. SALAMANCA, José. Influencia que tiene la contaminación salina en el asfalto. Tesis de Ingeniería, Universidad de Chile, Santiago. Chile. 2007. http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104588/salamanca_ga.pdf?sequence=3&isAllowed=y
22. ALDANA, Jorge & ACOSTA, Luis. Análisis hecho al Comportamiento que existe en las Mezclas Gruesa hechas en Caliente MGC-1. Tesis de ingeniería, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2015. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2579/1/An%C3%A1lisis_comportamiento_MGC-1_utilizando_SBS.pdf
23. BENÍTEZ, Anibal; ZAPATA, Kevin & ARAUJO, Efrain. Evaluación de la Resistencia de una Mezcla Asfáltica Tibia. Investigación (Trabajo de Especialista en Ingeniería de Pavimentos). Universidad Católica De Colombia. Bogotá D.C. Colombia, 2015. Disponible en: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2804/1/TG_Aníbal-Benites_Kevin-Zapata_Efraín-Araujo.pdf
24. BERRÍO, Ana. Diseño y evaluación hecho al desempeño que debe tener una mezcla asfáltica tipo MSC-19. Tesis de Magíster en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Colombia, 2017. <http://bdigital.unal.edu.co/63583/1/1128439758.2017.pdf>

25. CABRERA, Jorge. Análisis Comparativo para el Diseño de Mezclas Asfáltica. Tesis de ingeniería, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, 2019. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13926/1/TTUAIC-2019-ICI-DE00009.pdf>
26. CASADEVALL, Terry. Volcanic ash and aviation safety: Presented in the First International Symposium related with volcanic ash and the Aviation safety. Seattle, USA.: U.S Geological Survey Bulletin 2047, 1991. <https://pubs.usgs.gov/bul/2047/report.pdf>
27. KOWALSKI, Karol; KRÓL, Jan; RADZISZEWSKI, Piotr; PIŁAT, Jerzy & SARNOWSKI, Michał. New concept of sustainable road. E&E Congress 2016. Prague, Czech Republic <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=1049>
28. BABA YAHAYA, Abubakar et al. A Comparative Study of Contemporary. International Journal of Civil Engineering and Construction Science.; Vol (5), N° (1): 2018. https://www.researchgate.net/publication/323074586_A_Comparative_Study_of_Contemporary_Flexible_Pavement_Design_Methods_in_Nigeria_Based_on_Costs/link/5a7e120d0f7e9be137c4d545/download
29. VELASQUEZ, Samuel. Comparación técnica y económica de las mezclas asfálticas en Lima-2017. Tesis de ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú, 2017. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/1506>
30. SANGIORGI, Cesare; TATARANNI, Piergiorgio; MAZZOTTA; Francesco, SIMONE Andrea; VIGNALI, Valeria and LANTIERI, Claudio. Alternative Fillers in the Production for Bituminous Mixture: Journal Coatings. Vol (76), N° (7): 2017. <https://www.semanticscholar.org/paper/Alternative-Fillers-for-the-Production-of-Mixtures%3A-Sangiorgi-Tataranni/b5ccfca57d6274b5cb90c61ac28656081a02760b>
31. SÁNCHEZ, Esteban., Mejía, F., Vizcaíno, G., & Cipriani, I. Análisis de los minerales y de los elementos que componen la ceniza volcánica. Revista Infoanálítica. Vol (23), N° (9): 2017. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13495>
32. POURANIAN, Reza and SHISHEHBOR, Mehdi. Sustainability Assessment of Green Asphalt Mixtures: A Review. Journal Environments. [En Línea] 6(6), 73;

2019. [Fecha consultada en 2 de octubre del 2019]. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/2076-3298/6/6/73/htm>
33. ASH STEWART, Carol. et al. Protocol for analysis of volcanic ash using samples for assessment of hazards from leachable elements. New Zealand: Journal Massey University. [En línea]. 2013. [Fecha consultada en 1 de octubre del 2019]. Disponible en:
https://www.ivhnh.org/images/pdf/volcanic_ash_leachate_protocols.pdf
 34. NAVARRO, José. Propuesta de Diseño de Mezclas usando PET. Tesis de ingeniero, Universidad Señor de Sipán, Pimentel. Perú, 2017.
<http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4569/Navarro%20Jim%C3%A9nez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 35. AHMAD A. F., RAZALI A. R. , RAZELAN I. S. M. , JALIL S.S. A. , NOH M.S. M. and IDRIS A. A. Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in bituminous mixture for improved performance of roads. Journal of Mechanical Engineering, Science and Technology in the International Conference IOP Publishing: Materials Science and Engineering 203 012005, 2017.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/203/1/012005>
 36. RAHMAN, Wilken. Y WAHAB, Anders. Green Pavement Using Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) as Partial Fine Aggregate Replacement in Modified Procedia Engineering, Vol (53), N° (1): 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.02.018>
 37. LOZADA, Javier. Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. Cienciamérica, (3). pp. 34-39, 2014.
<http://www.uti.edu.ec/antiguo/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>
 38. ARIAS, Fidias. Mitos y errores en la elaboración de tesis y proyectos de investigación. Caracas, Venezuela: Episteme. 2006.
https://www.academia.edu/10608825/Mitos_y_errores_en_la_elaboraci%C3%B3n_de_tesis_y_proyectos_de_investigaci%C3%B3n_3ra_Edici%C3%B3n_2006

39. BALESTRINI, Marian. Cómo se elabora el proyecto de investigación. Caracas, Venezuela: Caracas BL Consultores Asociados, 2006. <https://www.urbe.edu/UDWLibrary/InfoBook.do?id=512173>
40. TAMAYO y TAMAYO. El proceso de investigación científica. 4^a ed. México: Editorial Limusa S.A. 2003. 402 pp
41. SABINO, Carlos. El Proceso de Investigación. Caracas, Venezuela: Editorial Panapo. Caracas, 1992. <https://www.hormigonuno.files.wordpress.com>
42. ICART, Mario. Como elaborar y presentar un proyecto de investigación, una tesina y una tesis. Barcelona. España. Ediciones Universitat. Barcelona, 2012. <https://www.universitat.edu.com>
43. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Roberto y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. México D.F: McGraw-Hill, 2014. pp 600.
44. NEILL, David. Procesos y fundamentos de la investigación científica. Machala. Ecuador. Editorial UTMACH, 2018. <https://www.utmachala.edu.ec>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Operacionalización de las Variables.

Título: Evaluación de la Mezcla Asfáltica 60-70 incorporando Cenizas Volantes y Plástico PET para disminuir el envejecimiento Pavimento Flexible San Martin de Porres - 2019.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable Independiente .Cenizas Volantes	Las cenizas volantes es el polvillo generado por las termoeléctricas, reutilizado para el diseño de mezcla en reemplazo porcentual del de la mezcla asfáltica (Peña,2015)	La ceniza volante es la que queda luego de ser quemado del carbón mineral o cualquier otro elemento que genere cenizas después de quemado, esto es incorporado a la mezcla asfáltica y posteriormente se miden las propiedades de envejecimiento.	Dosificación Cenizas Volantes	(0.6%, 0.78%, 0,92%)	Ensayo de granulometría, Balanza
Variable Independiente . Plástico PET	El PET es un polímero de condensación termoplástico y material muy usado para producir una gran diversidad de envases de bebida, como los refrescos y fibras textiles (Navarro,2017).	Este polímero que es usado para envasar agua y refresco queda como desecho contaminante al medioambiente, esto es incorporado a la mezcla asfáltica y posteriormente se miden las propiedades de envejecimiento.	Dosificación Plástico PET	(0.25%, 0.45%, 0,55%)	Ensayo de granulometría, Balanza
Variable dependiente Propiedades de envejecimiento del pavimento flexible	Las propiedades del envejecimiento del asfalto consisten en la alteración de las propiedades fisicoquímicas del material y de la durabilidad de los pavimentos asfálticos (Vargas y Reyes, 2010).	El desarrollo tecnológico ha llevado a la industria del asfalto a usar agregados como el plástico PET y las cenizas volantes para mejorar las características reológicas, elásticas, fisicoquímicas y mecánicas. Ayudando a que el asfalto tarde mucho en envejecer, a través de mediciones de laboratorio de estudios previos.	Propiedades Mecánicas	Estabilidad, flujo, Relación estabilidad versus flujo y Porcentaje de Vacío	Ensayo Marshall

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2: Matriz de consistencia

Título: **Evaluación de la Mezcla Asfáltica 60 -70 incorporando Cenizas Volantes y Plástico PET para disminuir el envejecimiento Pavimento Flexible San Martin de Porres - 2019.**

Problema General	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	DIMENSIONES	INIDCADORES	METODOLOGÍA
¿En cuánto influyen las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible con la adición de las cenizas volantes y plástico PET que representan un problema ambiental y así aumentar su vida útil?	Evaluar como las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible mejora con la incorporación de cenizas volantes y plástico PET.	La mezcla de asfalto con cenizas volantes y plástico PET mejorara las propiedades mecánicas de envejecimiento del pavimento flexible.	Variable Independiente Cenizas Volante	Dosificación	(0.60%, 0.78%,0.92%)	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimental NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Correlacional POBLACIÓN: Todas las probetas que se encuentran en el laboratorio de acuerdo al análisis documental. MUESTRA: las 36 probetas con PET y cenizas volantes y 2 de diseño de mezclas para un total de 38. TECNICA: Análisis documental de tipo retrospectivo
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específica				
¿Cuánto influye la dosificación de las cenizas volantes en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?	Evaluar cómo influye la dosificación de las cenizas volantes en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.	La dosificación de las cenizas volantes aumentará la relación estabilidad vs flujo del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.	Variable Independiente Plastico PET.	Dosificación	(0.25%, 0.45%, 0.55%)	
¿Cuánto incide la dosificación de plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?	Evaluar cómo influye la dosificación de plástico PET en la relación estabilidad vs flujo del Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.	La dosificación de plástico PET aumentará la relación estabilidad vs flujo del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica..	Variable Dependiente Propiedades de envejecimiento del pavimento flexible.	Propiedades Mecánicas	Estabilidad, flujo, relacion estabilidad versus flujo y Porcentaje de Vacío	
¿Cuánto influye la dosificación de cenizas volantes y el pastico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica?	Evaluar cómo influye la dosificación de las cenizas volantes y el pastico PET en el porcentaje de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.	La dosificación de las cenizas volantes y el pastico PET disminuirá los porcentajes de vacíos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica.				

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3: Revisión de instrumentos – DPI

OBJETIVO 1

ENSAYO MARSHALL ESTABILIDAD/FIUIJO MTC E504/ AASHTO T 245/EG-2013

PATRÓN		CON CENIZAS VOLANTES	
Porcentaje de Asfalto	Estabilidad/flujo (kgf/cm)	Porcentaje de cenizas volantes.	Estabilidad/flujo(kgf/cm)
0	Máximo 4000	0	Máximo 4000
4.2	3427.66	0.6	3481.40
4.7	3417.77	0.78	3809.60
5.2	3439.34	0.92	3826.4

Fuente: Elaboración Propia

OBJETIVO 2

ENSAYO MARSHALL ESTABILIDAD/FLUJO MTC E504/AASHTO T 245/EG-2013

PATRÓN		CON PET	
Porcentaje de Asfalto	Estabilidad/flujo (kgf/cm)	Porcentaje de PET	Estabilidad/flujo (kgf/cm)
0	Máximo 4000	0	Máximo 4000
5.7	2528.8	0.25	2998.25
6.15	2693.5		
6.2	2674	0.45	2903.625
6.7	2465.8	0.55	3192.875

Fuente: Elaboración Propia

OBJETIVO 3

ENSAYO MARSHALL PORCENTAJE DE VACIOS MTC E504/AASHTO

T-2091/EG-2013

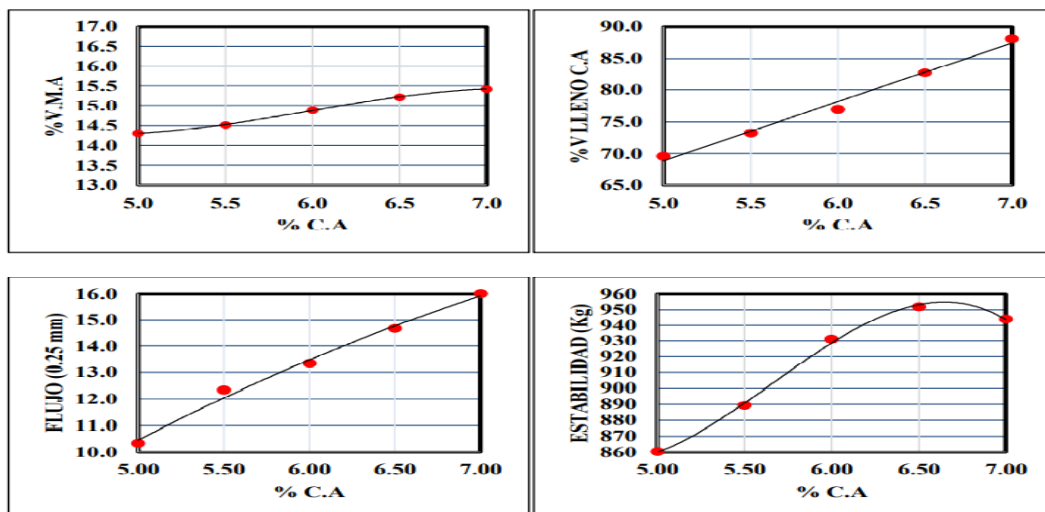
PATRÓN		CON CENIZAS VOLANTES	
Porcentaje de Asfalto	Porcentaje de vacíos (%)	Porcentaje de cenizas volantes.	Porcentaje de vacíos (%)
0	Máximo 5	0	Máximo 5
4.2	4.68	0.4	3.91
4.7	4.04	2.5	3.6
5.2	3.72	3.5	3.3

PATRÓN		CON PET	
Porcentaje de Asfalto	Porcentaje de vacíos (%)	Porcentaje de PET	Porcentaje de vacíos (%)
0	Máximo 5	0	Máximo 5
5.7	3.74	0.25	3.22
6.15	3.05		
6.2	3.18	0.45	3.45
6.7	2.34	0.55	3.64

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 4: Instrumentos de recolección de datos

CERTIFICADO DE ENSAYO MARSHALL REALIZADO A LA MEZCLA ASFÁLTICA PATRÓN.



Fuente: Corbacho, 2019

Análisis de resultados de diseño de mezcla asfáltica modificada

Parámetros	Requisitos	Resultados	Validación
% C. óptimo de asfalto	6.15	6.15	Si cumple
% C. óptimo de fibras PET	-----	1.2	Si cumple
% Vacíos en mezcla	3 - 5	4.85	Si cumple
Peso específico (gr/cm ³)	-----	2.298	Si cumple
% Vacíos en el agregado mineral (VMA)	15 min	16.3	Si cumple
% Vacíos llenos con asfalto (VFA)	65 - 75	70.2	Si cumple
Flujo (0.25mm)	8 - 14	14.7	Si cumple
Estabilidad (kg)	830.05 min	856.3	Si cumple

Fuente: Corbacho, 2019

CERTIFICADO DE ENSAYOS PREVIOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA.

Caracterización del ligante PEN 85/100

CLASE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO				
TIPO DE PRODUCTO				
CEMENTO ASFÁLTICO				
NOMBRE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN				
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN	85	100	D-5	T-49
a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm				
VOLATILIDAD				
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51

Fuente: Adauto, 2019

CERTIFICADO DE ENSAYOS PREVIOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA.

Resumen de resultados obtenidos de las gráficas

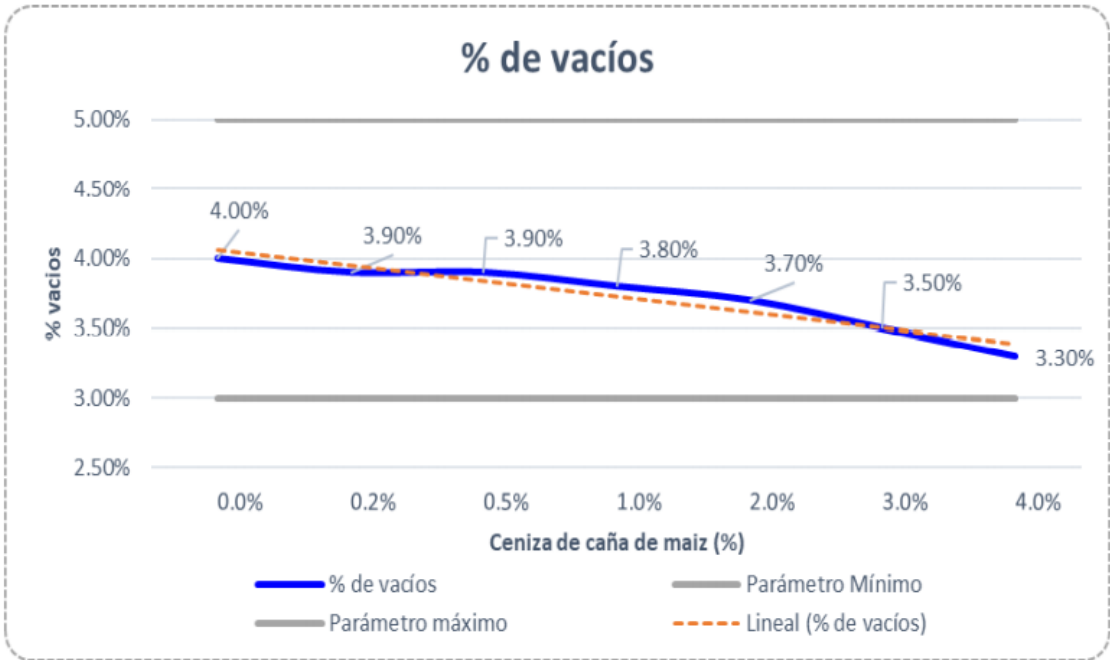
RESULTADOS OBTENIDOS		ESPEC.	RESULTADOS OBTENIDOS	
Golpes por cada cara	75	75	Estabilidad (kg)	1444
Optimo contenido C.A. (%)	6.0	(+/- 0.3)	Relación estabilidad/flujo (kg/cm)	3869
Peso unitario (gr/ cm ³)	2.377	-	Índice de compactibilidad	6.9
Vacíos (%)	4.0	3 - 5	Estabilidad retenida (%)	81.8
V.M.A. (%)	15.9	MIN 14	Finos / ligante (%)	1.16
Flujo (mm)	3.73	2 - 4		

Fuente: Adauto, 2019.

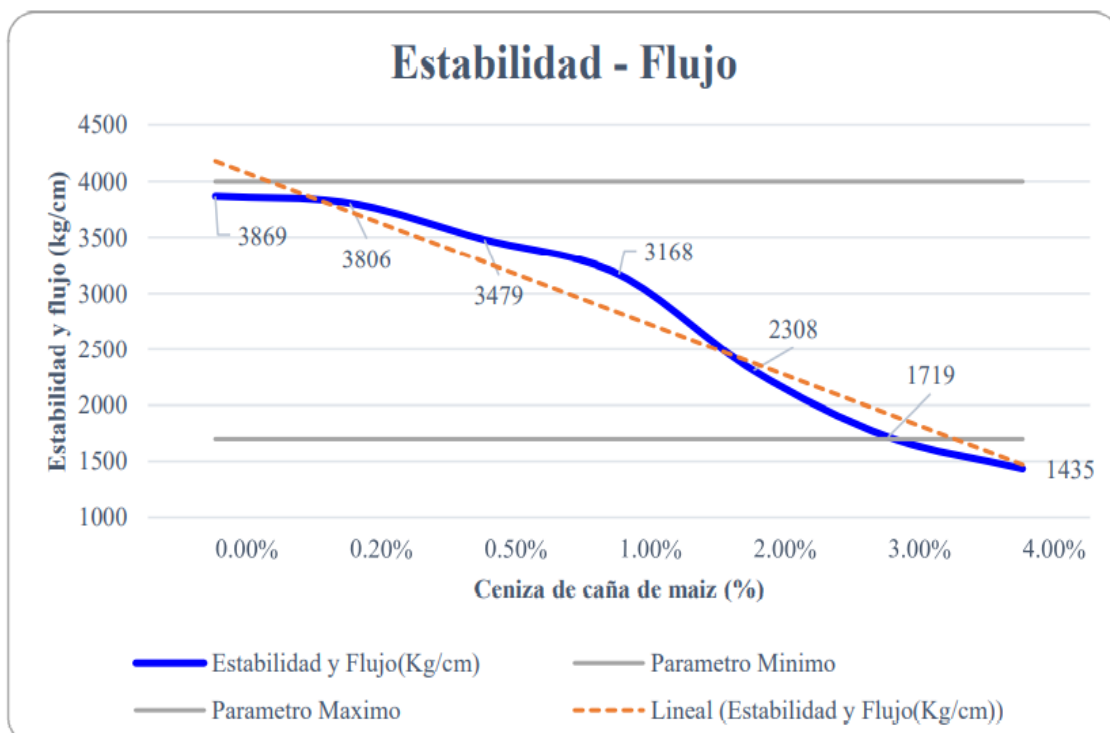
Estabilidad y flujo Marshall de las mezclas asfálticas

DATOS		UNDIDAD	01	02	03	04	05	06	06
1.-	Contenido Cemento Asfáltico	%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
2.-	Contenido Ceniza	%	0.0	0.20	0.50	1.0	2.0	3.0	4.0
3.-	Peso Unitario	gr./cm ³	2.377	2.383	2.388	2.397	2.409	2.425	2.444
4.-	Peso Específico Máximo Raice	gr./cm ³	2.476	2.480	2.484	2.492	2.501	2.512	2.522
5.-	Vacío	%	4.0	3.9	3.9	3.8	3.7	3.5	3.1
6.-	Flujo	mm.	3.7	3.4	3.6	3.4	4.1	4.4	4.7
7.-	Estabilidad	kg.	1444	1294	1241	1077	939	757	670
8.-	Estabilidad/Flujo	Kg/cm	3869	3806	3479	3168	2308	1719	1435

Fuente: Adauto, 2019



Fuente: Adauto, 2019



Fuente: Adauto, 2019

CERTIFICADO DE ENSAYOS PREVIOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA.

Cemento asfáltico clasificado por penetración.

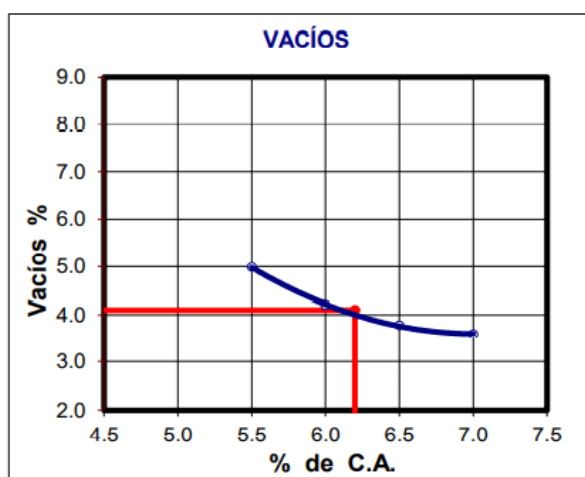
Tipo		Grado de Penetración		
Grado	Ensayo	PEN		Resultado
		85-100		
		min.	máx.	
Pruebas sobre el Material Bituminoso				
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	MTC E 304	85	100	94
Punto de inflamacion, c°	MTC E 312	232		276
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		>150
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,7
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	+1	-0.1
Ensayo de la Mancha (Olienses)				
Solvente Nafta - Estándar	AASHTO M20	Negativo		Negativo

Fuente: Peña, 2019

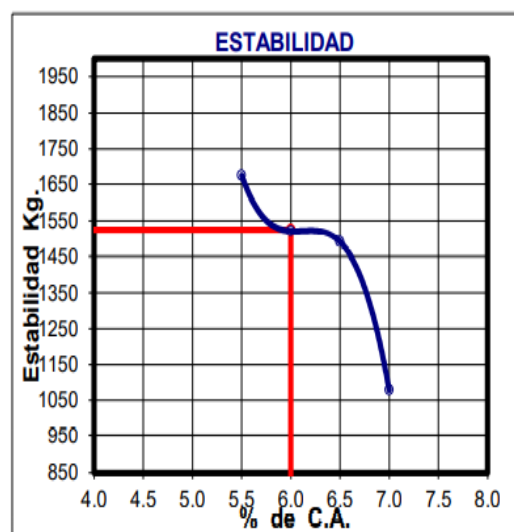
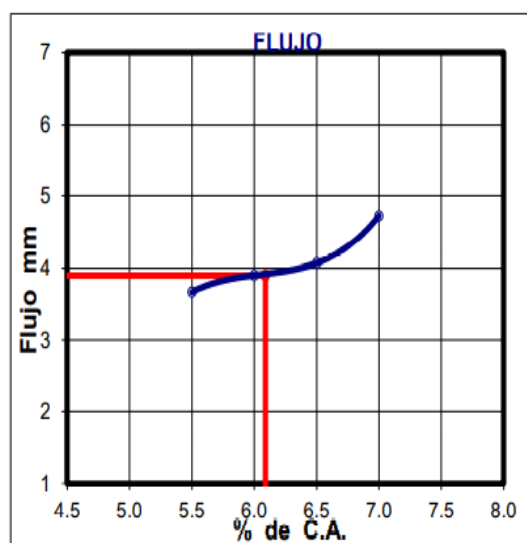
Resultado del diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional.

Diseño Marshall		T. de mezcla (150 C°) T. de compactación (145 C°)			
Parámetro de diseño	Unidad	Resultados de ensayos			
C.A.	%	5.5	6	6.5	7
Peso unitario	kg/cm3	2.360	2.372	2.371	2.368
Vacíos	%	5.0	4.2	3.8	3.6
Vacíos agregado mineral	%	16.1	16.1	16.6	17.1
Vacíos llenos de asfalto	%	69.0	73.9	77.2	79.0
Flujo	kg	3.7	3.9	4.1	4.7
Estabilidad	0.01"	1674.8	1521.0	1490.5	1079.2

Fuente: Peña, 2019



Fuente: Peña, 2019

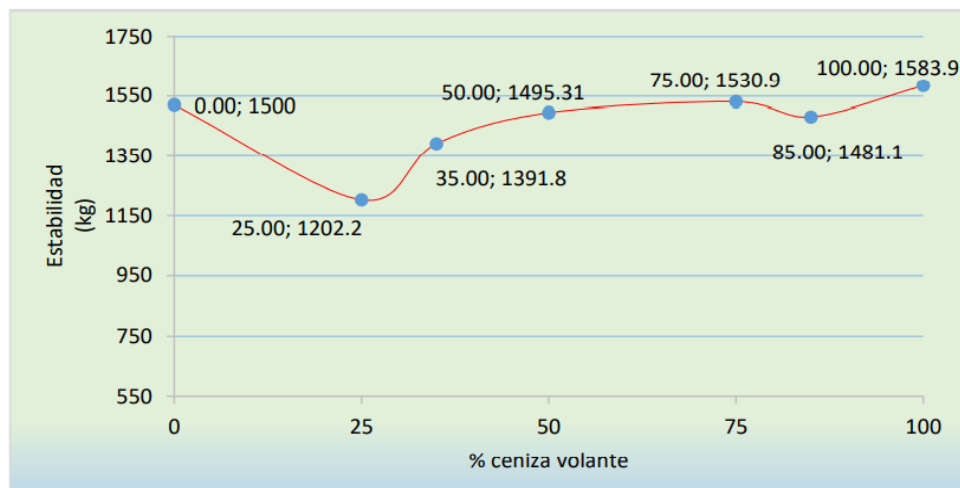


Fuente: Peña, 2019

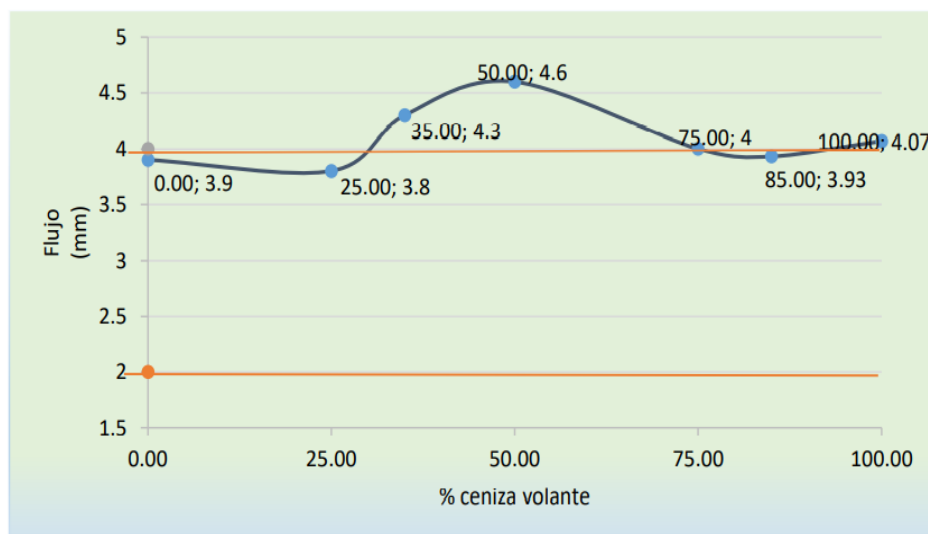
Resultado de los parámetros Marshall con incorporación de cenizas volantes al llénate mineral.

Parámetros	Unidad	Esp.	% de incorporación de cenizas volantes en el filler						
			Mezcla convencional 0%	0.25%	0.35%	0.50%	0.75%	0.85%	1.00%
				C.V	C.V	C.V	C.V	C.V	C.V
				0.75% Cal	0.65% Cal	0.50% Cal	0.30% Cal	0.15% Cal	0.0% Cal
Estabilidad	kg	Min. 815	1500	1202.2	1391.8	1495.31	1530.9	1481.1	15383.9
Flujo	mm	2 - 4	3.9	3.8	4.3	4.6	4	3.93	4.07
Estab./Flujo	Kg/cm	1700 - 4000	3853	3164	3237	3251	3827	3769	3892

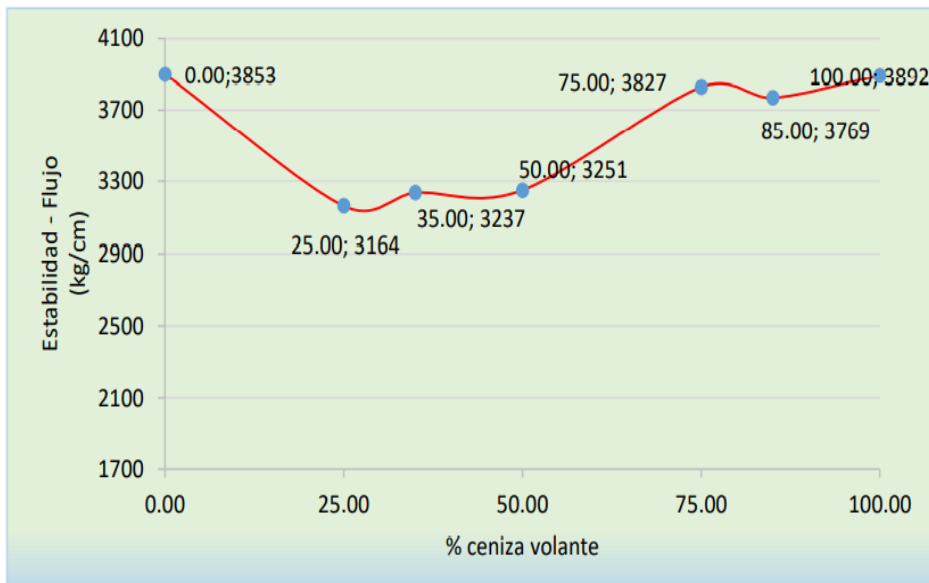
Fuente: Peña, 2019



Fuente: Peña, 2019



Fuente: Peña, 2019



Fuente: Peña, 2019